

# ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВАТОРОВ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ВОЛЬФРАМОВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Чл.-кор. НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО, Д. В. КОВАЛЕНКО, И. В. КОВАЛЕНКО**, инженеры  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

В ИЭС им. Е. О. Патона разработано новое поколение активирующих флюсов. Приведены данные по использованию аэрозольных активирующих флюсов (активаторов) серии ПАТИГ для сварки нержавеющей стали серий 300 (301, 304, 316, 320 и др.), 400 (401, 416 и др.); дуплекс-сталей; никелевых сплавов типа Нимоник, Хастеллой, Инконель; жаропрочных и теплоустойчивых сталей. Показаны технологические и экономические преимущества ручной и механизированной сварки тонкого и толстого металла при выполнении стыковых, угловых, нахлесточных, тавровых соединений в виде различных конструкций.

*Ключевые слова:* дуговая сварка вольфрамовым электродом, проплавление, активирующий флюс, стали, никелевые сплавы

В 1965 г. группа сотрудников ИЭС им. Е. О. Патона опубликовала первые данные о результатах исследования влияния активирующих флюсов при сварке титана вольфрамовым электродом в аргоне [1]. В течение последующих лет в ИЭС им. Е. О. Патона и в других организациях разных стран изучали влияние активирующих флюсов на процессы, происходящие в столбе дуги, поведение расплавленного металла в ванне, проплавление и формирование металла шва [2–10].

Новым импульсом к развитию исследований в этом направлении послужили презентация-конференция ИЭС им. Е. О. Патона (с 6 по 14 октября 1993 г. в TWI, г. Абингтон, Великобритания) [11, 12] и результаты совместного проекта, выполненного в 1994–1996 гг. ИЭС им. Е. О. Патона в сотрудничестве с TWI [13]. При этом было подтверждено, что активирующие флюсы значительно увеличивают проплавление и производительность при сварке низколегированных (50D и 43A) и нержавеющей (304L и 316L) сталей независимо от степени их чистоты по сере и кислороду, а также от способа производства. Основными направлениями в исследованиях последних лет стали следующие:

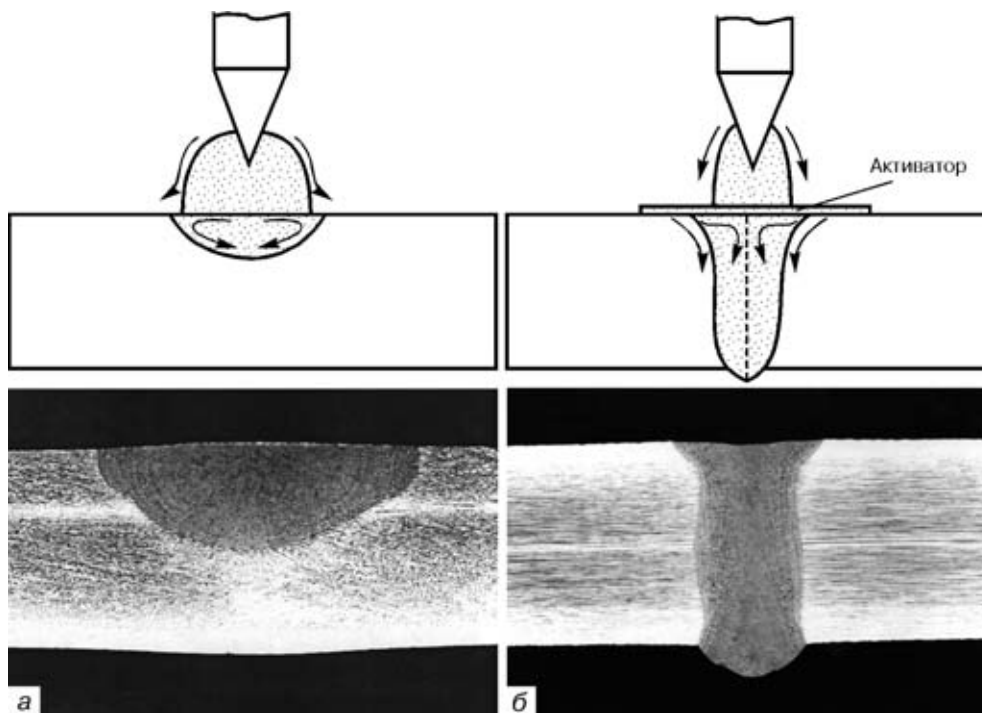


Рис. 1. Принципиальная схема процессов дуговой сварки и макрошлифы сварного соединения стали 304L толщиной 6 мм, выполненные способами сварки ТИГ (а) и А-ТИГ (б)

© К. А. Ющенко, Д. В. Коваленко, И. В. Коваленко, 2001



Таблица 1. Примеры соединений, которые могут быть выполнены способом сварки А-ТИГ

Вид соединения	Характер выполнения шва	Форма поперечного сечения шва	Пределы значений толщины $S$ и притуплений $t$ , мм
Стыковое	Односторонний		$S_1 = 1...8$ $S_2 = 8...12$ $S_3 = 9...25$ и выше $t = 5...8$
	Двусторонний		$S_1 = 8...16$ $S_2 = 16...25$ $t_1 = 5...8$ $S_3 = 16...25$ и выше $t_2 = 8...12$
Угловое	Односторонний		$S_1 = 1...8$ $S_2 = 3...20$ и выше
	Двусторонний		$S_1 = 5...20$ и выше $S_2 = 5...60$ $t = 3...6$
Тавровое	—		$S_1 = 3...6$ и выше $S_2 = 3...6$ и выше $S_3 = 4$ $S_4 = 5$ $S_5 = 6$
Внахлестку	—		$S_1 = 1,5...3,0$ $S_2 = 1,5...3,0$

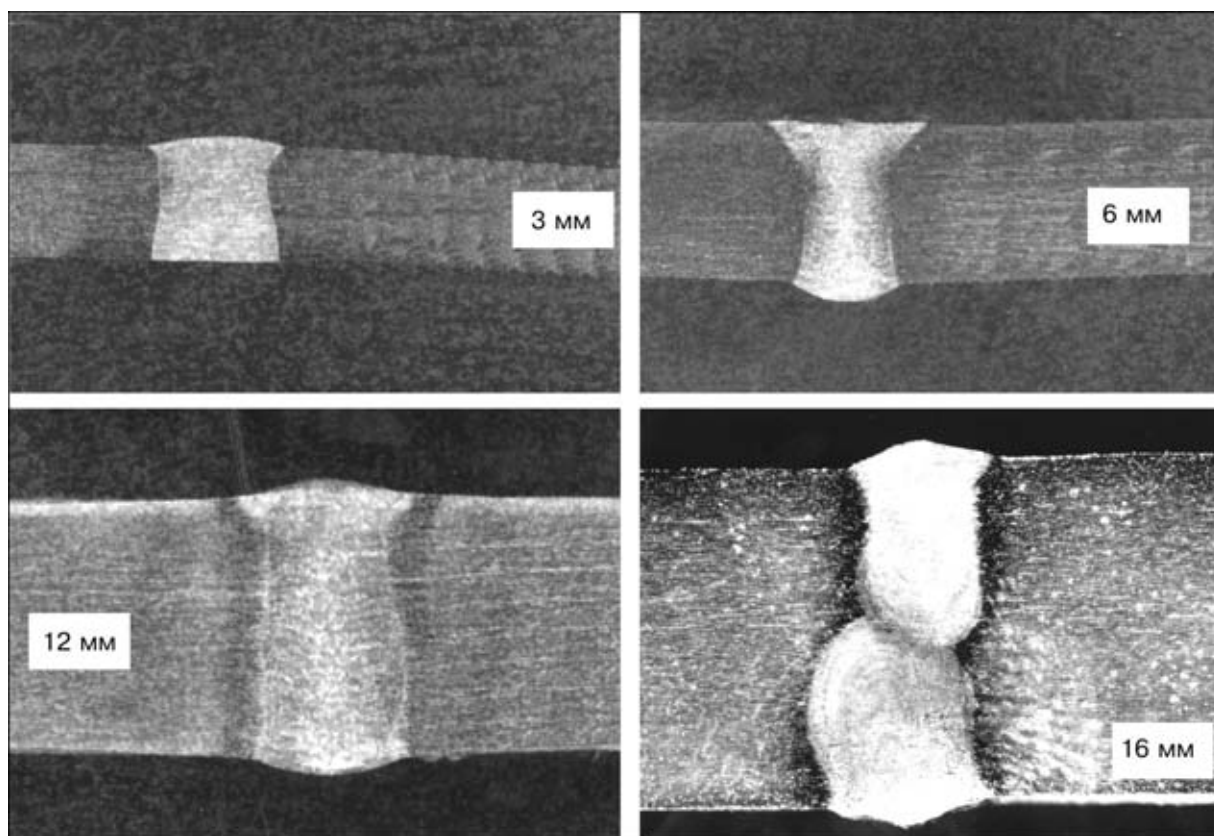


Рис. 2. Макрошлифы сварных соединений стали марки 304L различных толщин, выполненных способом сварки А-ТИГ

создание новых типов активирующих флюсов как по составу, так и по способу нанесения;

расширение номенклатуры конструкционных материалов, которые могут свариваться с помощью активирующих флюсов, и видов соединений;

накопление опыта промышленного применения активирующих флюсов при производстве реальных сварных конструкций;

изучение процессов, происходящих в дуге и ванне под воздействием активирующих флюсов, разработка теоретических положений процесса;

определение новых областей применения активирующих флюсов для различных способов сварки.

**Материалы и результаты исследований.** Традиционно активирующие флюсы состоят из дисперсных порошков оксидов или галогенидов металла. Для их равномерного нанесения на свариваемую поверхность используют так называемый способ кисточки, или влажного тампона, когда смесь, состоящую из порошкообразного флюса и растворителя, наносят тонким слоем на поверхность. Хороших результатов достигают при распылении суспензии, состоящей из тех же основных компонентов.

Находят применение активирующие флюсы, представляющие собой пластифицированный карандаш. Каждый из способов нанесения, а также материалы имеют свои достоинства и недостатки.

Основным достоинством аэрозольных активирующих флюсов (активаторов) является равномерное покрытие по длине шва и по толщине наносимого слоя, повышение технологичности и удобства в применении, а также длительный срок хранения в готовом к употреблению виде [14, 15].

На рис. 1 показана принципиальная схема процесса дуговой сварки ТИГ стали 304L ( $FeCr-18Ni-10$ ) толщиной 6 мм и макрошлифы, выполненные без активатора и с ним. В последнем случае появляется характерная для данного процесса форма шва и увеличивается проплавление.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны активирующие флюсы серии ПАТИГ для сварки легированных и нержавеющей сталей разного класса — флюсы типа ПАТИГ С, и некоторых сплавов на никелевой основе — ПАТИГ Н. Ниже приводятся исследования технологических возможностей и свойств сварных соединений, выполненных с применением аэрозольных (А) активаторов ПАТИГ С-А и ПАТИГ Н-А. Во всех случаях использовали оборудование, применяемое для дуговой сварки ТИГ.

Исследовали возможность соединения металла толщиной 1... 25 мм. Производили анализ макро- и микроструктур металла швов. В ряде случаев определяли его химический состав и механические свойства. В зависимости от системы легирования основного металла выбирали состав активатора. Сварку производили на постоянном токе при прямой полярности без подачи присадочной проволоки. Использовали головки для автоматической сварки и защитный газ аргон. Наряду с автоматической выполняли и ручную сварку. При этом особое внимание уделяли получению максимального проплавления и шва заданной геометрии при сварке за один проход.

**Виды соединений.** В табл. 1 показаны примеры выполнения соединений, которые могут быть реализованы на практике. Как следует из таблицы, применение активаторов не имеет ограничений в зависимости от типа соединения и положения шва в пространственном положении. При этом предъявляются следующие дополнительные требования:

равномерное нанесение активатора на свариваемые поверхности;

удержание большего объема расплавленного металла от вытекания при свободном формировании шва.

Такие требования возникают, когда поверхностного натяжения жидкого металла недостаточно для удержания ванны, что обычно присуще низколегированным и нержавеющей сталям при сварке на весу (без подкладки или поддува) металла толщиной свыше 6... 7 мм. При наличии подкладки толщина свариваемого за один проход металла достигает 10... 12 мм, а при выполнении двухпроходной двусторонней сварки можно получать стыковые соединения толщиной до 25 мм (рис. 2). Естественно, что этого можно достичь также при выполнении угловых и тавровых швов. Как и в случае обычной аргонодуговой сварки ТИГ, сварку способом А-ТИГ можно выполнять в разделку, в том числе с подачей присадочной проволоки.

Активаторы ПАТИГ С-А дают хорошие результаты при сварке А-ТИГ сталей на основе железа с нормальным содержанием углерода (0,08... 0,25 С), дополнительно легированных марганцем, кремнием, хромом, никелем, молибденом, ванадием, ниобием, азотом, вольфрамом в умеренных количествах. При их сварке на качество швов влияет углеродный эквивалент. Зафиксирована подкалка металла шва и зоны термического влияния. Необходимые свойства металла достигаются за счет соответствующей термообработки. При сварке сталей, содержащих малое количество раскислителей, в швах обнаруживаются поры. Использование присадочной проволоки с повышенным содержанием марганца и кремния позволяет устранить этот недостаток.

Химические составы типичных представителей малоуглеродистых и низколегированных сталей, а также нержавеющей сталей, на которых получены качественные швы при сварке с использованием активаторов серии ПАТИГ С-А, приведены в табл. 2.

Анализ механических свойств металла швов, выполненных на хромоникелевых сталях аустенитного класса типа  $FeCr-18... 20Ni-9... 13$  показывает, что они полностью равноценны таковым швов, полученных без активатора. Массовые доли основных легирующих элементов (хром, никель, марганец, кремний и др.) в металле обоих швов не изменяются, включая газы.

Стали хромоникелевые аустенитно-мартенситного класса типа  $FeCr-16Ni-4$  проявляют те же особенности. Швы хорошо формируются в исследованном (до 20... 25 мм) диапазоне толщин. После сварки для сталей такого типа необходим стандартный отпуск. При этом достигается равнопрочность сварного соединения с хорошей пластичностью и вязкостью металла шва.



Таблица 2. Химический состав материалов, свариваемых способом сварки А-ТИГ

Класс стали (сплава)	Марка	Массовая доля элементов, %							
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	Al
Нержавеющие	304L	0,07	0,6	1,7	19,5	9,0	0,45	<0,10	—
	316L	0,017	0,75	1,9	18,5	13,0	2,75	<0,12	—
	321	0,17	0,62	1,63	17,4	9,67	0,27	0,15	—
Дуплексные	23Cr/6Ni	0,03	0,3	1,5	23,0	6,0	—	—	—
	Avesta SAF2205	0,020	0,41	1,65	22,3	5,7	3,09	—	—
Аустенитно-мартенситные	16Cr/6Ni	0,043	0,14	0,60	16,06	6,0	—	—	—
Мартенситные	16Cr/4Ni	0,04	0,33	0,50	15,33	4,65	0,14	—	—
Ферритно-мартенситные	12Cr/Mo	0,10	0,28...0,32	0,47...0,57	11,5...11,9	0,44	0,42	<0,01	0,012...0,030
Хромо-молибденовые	2,25Cr/1,0Mo	—	—	—	2,25	—	1,0	—	—
Углеродисто-марганцовистые	50D	0,13	0,63	1,07	0,01	0,01	<0,005	<0,002	0,052
	43A	0,10	0,19	0,52	0,01	0,01	<0,005	<0,002	0,07
Никелевые сплавы	Инконель 600	0,032	0,29	0,27	16,0	74,45	—	—	—
	Инконель 690	—	—	—	29,0	61,5	—	—	—
	Инконель 718	0,01...0,05	0,75	0,5	17...21	50...55	2,8...3,3	0,3...1,3	0,2...1,0
	Инконель 738LC	—	—	—	16,0	54,0	1,75	3,45	3,45
	Инконель 939	0,15	—	—	22,4	47,0	—	3,7	1,9
	Нимоник-75	0,14	0,14	0,39	21,0	74,6	—	0,28	—
	Хастеллой X	0,10	—	—	22,0	46,5	9,0	—	—
	Хэйнес 230	0,05	0,5	0,65	23,0	59,1	2,0	—	0,35

Продолжение табл. 2

Класс стали (сплава)	Марка	Массовая доля элементов, %						
		Fe	Co	P	S	W	O	Других
Нержавеющие	304L	—	0,062...0,21	0,009...0,031	0,002...0,1	—	0,005	0,07...0,16Cu 0,02...0,08V 0,032...0,056N
	316L	—	—	0,017...0,032	0,001...0,004	—	0,0045...0,0085	0,08...0,35Cu 0,04...0,07V 0,02...0,073N
	321	—	0,11	0,002	0,002	—	—	0,41Cu 0,011N
Дуплексные	23Cr/6Ni	—	—	—	—	—	—	N (не опр.)
	Avesta SAF2205	—	0,08	0,021	0,000	—	—	0,18N 0,14Cu
Аустенитно-мартенситные	16Cr/6Ni	—	—	—	0,001	—	—	0,22Cu
Мартенситные	16Cr/4Ni	—	—	0,02	0,01	—	—	—
Ферритно-мартенситные	12Cr/Mo	—	—	0,013...0,019	0,001...0,014	—	0,002...0,003	0,00005...0,0023Ca 0,016...0,036N
Хромо-молибденовые	2,25Cr/1,0Mo	Ост.	—	—	—	—	—	—
Углеродисто-марганцовистые	50D	»»	<0,005	0,014	0,011	—	0,0018	0,025Nb 0,01Cu
	43A	»»	—	0,011	0,012	—	0,0015	0,04Cu
Никелевые сплавы	Инконель 600	8,3	—	—	0,004	—	—	0,09Cu
	Инконель 690	9,0	—	—	—	—	—	—
	Инконель 718	Ост.	—	—	0,03*	—	—	0,75Cu
	Инконель 738LC	»»	8,5	—	—	2,6	—	1,75Ta 0,85Nb
	Инконель 939	—	19,0	—	—	2,0	—	1,4Ta 1,0Nb
Нимоник-75	3,4	—	0,008	0,001	—	0,0175	—	
Хастеллой X	18,5	1,5	—	—	0,6	—	—	
Хэйнес 230	—	—	—	—	—	—	0,028La	

Дуплексные хромоникельмолибденовые стали системы FeCr–18...30Ni–4...8MoTi также хорошо свариваются с применением активаторов. Поскольку при этом изменяются условия охлаждения шва (более интенсивный теплоотвод в основной металл по сечению шва при меньшей погонной энергии сварки), то в шве может происходить перераспределение соотношений аустенитной и ферритной фа-

зы. Оптимизация фазового состава металла шва достигается при сварке в смеси аргона с небольшими добавками азота ( $\approx 2...4\%$ ), которые не влияют на стабильность процесса и форму шва.

Аналогичные результаты с применением активаторов получают и на других сталях на основе железа различных систем легирования. Особенности их структурного состояния могут оказывать влияние

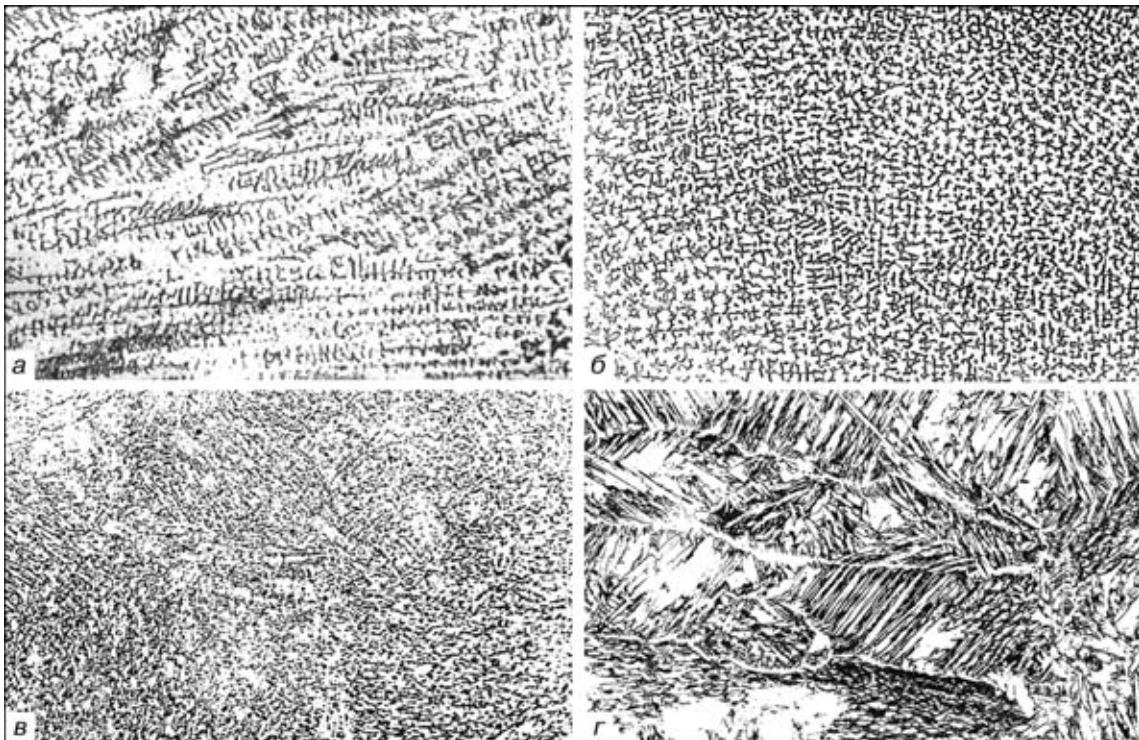


Рис. 3. Микроструктуры металла швов различных сталей, выполненных способом сварки А-ТИГ: *а* — Fe-19Cr-9Ni (304L); *б* — Fe-18Cr-13Ni (316L); *в* — Fe-16Cr-4Ni; *г* — Fe-23Cr-6Ni-MoTi



Рис. 4. Микроструктуры металла швов различных никелевых сплавов, выполненных способом сварки А-ТИГ: *а* — Нимоник-75; *б* — Инконель 600; *в* — Хастеллой X

на механические свойства шва (особенно в случае сварки без присадки). Как уже упоминалось, соответствующая термическая обработка дает возможность получить равноценные с основным металлом механические свойства металла шва и соединения в целом. Это подтвердилось при сварке хромистых ферритных сталей типа Fe17...28Cr, мартенситно-ферритных сталей типа Fe9...14Cr, а также низколегированных сталей бейнитного и мартенситного классов.

Микроструктуры металла швов, полученных сваркой А-ТИГ для некоторых сталей, показаны на рис. 3. Они являются типичными для материалов этого типа.

Никелевые сплавы несколько отличаются по своему поведению при сварке А-ТИГ, что связано с их низкой теплопроводностью, в ряде случаев повышенным содержанием специальных легирующих (титана, алюминия). Сплавы системы Cu-Ni, наоборот, имеют очень высокую теплопроводность, что сказывается на проплавлении и формировании швов.

В табл. 2 приведены химические составы ряда никелевых сплавов, для которых разработана серия активаторов типа ПАТИГ Н-А. На рис. 4 показаны

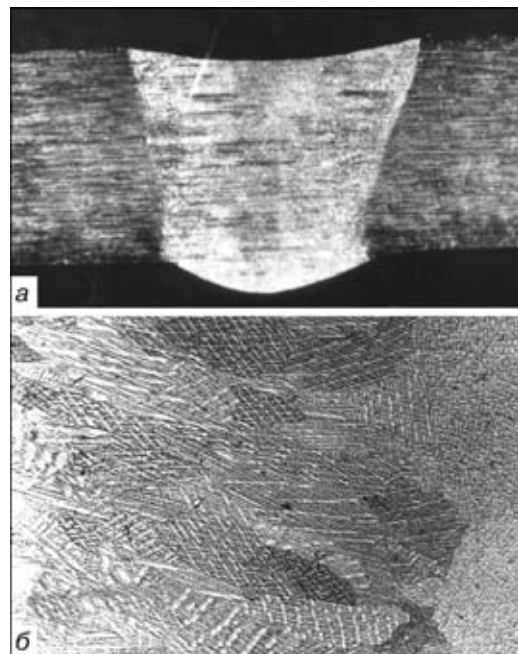


Рис. 5. Макрошлиф (*а*) и микроструктура (*б*) металла шва медно-никелевого сплава Cu-70Ni-30 толщиной 5 мм, выполненного способом сварки А-ТИГ



типичные микроструктуры металла швов ряда никелевых сплавов. Во всех случаях удается достичь основных преимуществ от использования активирующего флюса: увеличения проплавления (а значит, и производительности), уменьшения количества проходов и снижения тепловложения.

Особые затруднения для сварки представляют материалы с высокой теплопроводностью (алюминий, медь и сплавы на их основе). В последнее время удалось разработать активирующие флюсы для этого класса материалов. Пока получен не столь значительный эффект, как в случае сварки сплавов на основе железа или никеля. Однако достигнуто увеличение проплавления примерно в два раза. На рис. 5 приведены макро- и микроструктура металла шва сварного соединения сплава Cu-70Ni-30.

На основании экспериментов можно прийти к заключению о возможности создания активирующих флюсов, пригодных для увеличения проплавления (или снижения погонной энергии), для многих способов сварки и видов материалов в случае, если достичь соответствующего сжатия дуги, а также обеспечить концентрацию выделения энергии на аноде и конвективных потоков в жидкой ванне.

Особенностью сварки с использованием активаторов является то, что этот процесс обеспечивает практически одинаковую форму шва для однотипных сталей независимо от условий их производства, т. е. металл, полученный от разных производителей по всевозможным технологическим схемам (вып-

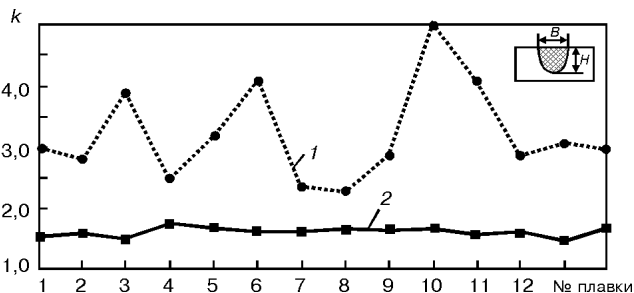


Рис. 6. Изменение коэффициента формы шва ( $k = B/H$ , где  $B$  — ширина шва,  $H$  — глубина проплавления) при аргодуговой сварке 14 различных плавков нержавеющей стали 304L: 1 — ТИГ; 2 — А-ТИГ

лавка в дуговых или индуктивных печах, в вакууме электрошлакового вакуумно-дугового или электронно-лучевого переплава), ведет себя одинаково с точки зрения проплавления и формирования шва.

На рис. 6 приведены данные, показывающие изменение формы шва при способах сварки ТИГ и А-ТИГ для разных плавков нержавеющей стали марки 304L (FeCr-18Ni-10). Очевидно, что активатор нивелирует влияние способа изготовления металла, что особенно важно при создании ответственных конструкций с точки зрения гарантированной воспроизводимости технологии сварки и качества шва.

Экономическая эффективность применения активаторов весьма высока и обеспечивается за счет следующих факторов:

снижения количества проходов;

Таблица 3. Сравнительная экономическая эффективность процессов сварки А-ТИГ и обычной ТИГ

Способ сварки	Технология	Скорость сварки, мм/мин	Затраты, дол. США/м					Всего
			Газ	Проволока	Заработная плата	Производственные затраты	Электроэнергия	
ТИГ	4 прохода (1-й — корневой шов ТИГ, 2...4-й — заполняющие швы ТИГ+проволока)	55	3,53	3,02	79,25	0,79	0,13	86,72
А-ТИГ	1 проход (шов А-ТИГ без проволоки)	80	0,90	—	13,61	0,13	0,01	14,65

Примечания. 1. Расчет приведен для сварки труб из нержавеющей стали марки 316L диаметром 100 мм и толщиной стенки 5,7 мм. 2. Все расчеты были проведены с помощью программы WELDCOST, разработанной в TWI (Англия), в которой заработная плата принята равной 40 дол.США в час. 3. Применение одного баллончика аэрозольного активатора ПАТИГ С-А, рассчитанного на погонную длину шва 10...15 м, дает экономию приблизительно 700...1000 дол. США.

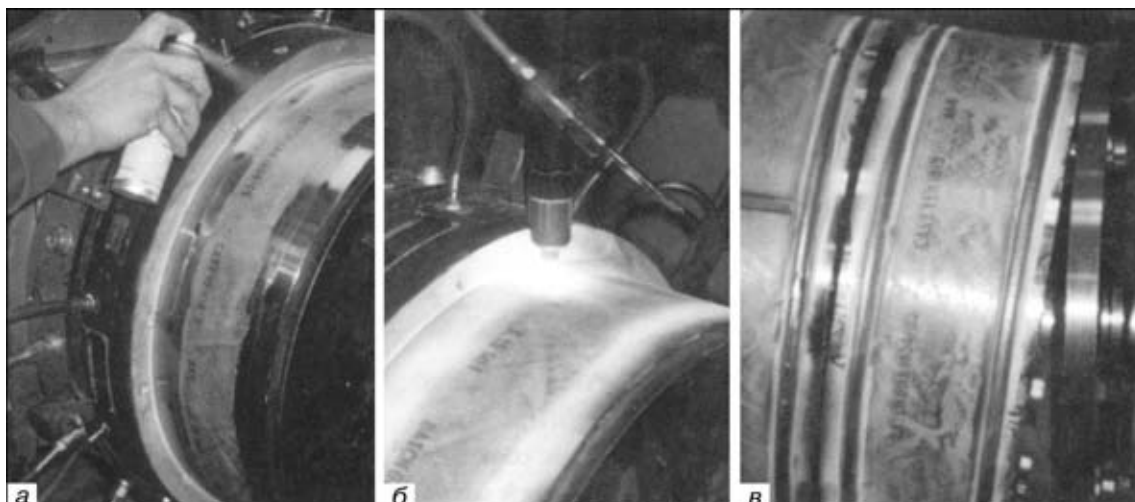


Рис. 7. Сварка элемента цилиндрического корпуса газотурбинного двигателя из никелевого сплава Нимоник-75 толщиной 3,25 мм [16] способом А-ТИГ: а — нанесение аэрозольного активатора на стык перед сваркой вручную; б — механизированный способ сварки А-ТИГ; в — сварной шов

уменьшения объема наплавленного металла путем исключения разделки;

исключения необходимости использования прищадочной проволоки;

сокращения затрат труда на выполнение, выборку и повторную заварку корневого шва;

уменьшения общих расходов энергии и труда.

В табл. 3 приведен сравнительный анализ экономической эффективности применения способов сварки ТИГ и А-ТИГ кольцевых швов труб, данные которого убедительно подчеркивают эффективность применения активаторов.

Необходимо отметить значительный промышленный опыт использования аэрозольных активаторов ПАТИГ в Великобритании фирмой «ABB Alstom Power UK, Ltd.» [16]. Там совместно с ИЭС им. Е. О. Патона проведены работы по созданию и использованию активаторов для английских углеродистых сталей и никелевых сплавов [17]. На рис. 7 показан пример сварки способом А-ТИГ кольцевых швов цилиндрического корпуса элемента газотурбинного энергетического оборудования из никелевого сплава Нимоник-75 толщиной 3,25 мм [16].

Многолетний опыт подтверждает значительные преимущества использования активаторов при изготовлении конструкций в тепловой и атомной энергетике, химическом и нефтяном машиностроении, авиакосмической технике, судостроении, пищевом машиностроении, котлостроении и других отраслях промышленности, а также в производстве труб и изделий из них.

## Выводы

1. В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны новые типы активирующих флюсов серии ПАТИГ для сварки разного класса сталей и некоторых сплавов на никелевой основе. Создан и прошел промышленную проверку аэрозольный активатор при производстве реальных сварных конструкций.

2. Расширена номенклатура конструкционных материалов и видов соединений, которые могут свариваться с помощью аэрозольных активаторов.

3. Применение активаторов позволяет увеличивать глубину проплавления в 2...4 раза; уменьшать или исключать влияние на проплавление способа производства стали (сплава); выполнять однопроходную сварку стыковых соединений толщиной до 10...12 мм без разделки кромок; устранять дефекты различных типов (поры, трещины, непровары и т. д.) путем переплава металла на глубину до 12 мм без проведения механической выборки дефектов;

The E. O. Paton Electric Welding Institute has developed a new generation of the activating fluxes. Data are given on the application of the activating fluxes (activators) of the PATIG series for welding stainless steels of grades 300 (301, 304, 316, 320, etc.) and 400 (401, 416, etc.), duplex steels, nickel alloys of the types of Nimonic, Hastelloy and Inconel, heat-resistant and high-temperature steels. Technological and economical advantages of manual and mechanized welding of thin and thick metal in making butt, fillet, overlap and T-joints are presented.

уменьшать сварочные деформации; увеличивать производительность сварочных работ в 2...7 раз; сокращать расход материалов и трудозатрат в 3...6 раз.

1. Гуревич С. М., Замков В. Н., Куширенко Н. А. Повышение эффективности проплавления титановых сплавов при аргодуговой сварке // Автомат. сварка. — 1965. — № 9. — С. 1-4.
2. Симонок А. Г., Петриашвили В. И., Иванов А. А. Эффект контракции дугового разряда при введении электроотрицательных элементов // Свароч. пр-во. — 1976. — № 3. — С. 49-51.
3. Влияние активирующих флюсов на проплавляющую способность сварочной дуги и концентрацию энергии в анодном пятне / О. Е. Островский, В. Н. Крюковский, Б. Б. Бук и др. // Там же. — 1977. — № 3. — С. 3-4.
4. Свариваемость конструкционных сталей, подвергшихся рафинированному переплаву / Б. Е. Патон, А. М. Макара, Б. И. Медовар и др. // Автомат. сварка. — 1974. — № 6. — С. 1-4.
5. Савицкий М. М., Лесков Г. И. Механизм влияния электроотрицательных элементов на проплавляющую способность дуги с вольфрамовым электродом // Там же. — 1980. — № 9. — С. 17-22.
6. Контракция дуги флюсом при сварке вольфрамовым электродом в аргоне / Б. Е. Патон, В. Н. Замков, В. Л. Прилуцкий и др. // Там же. — 2000. — № 1. — С. 1-8.
7. Савицкий М. М., Куширенко Б. Н., Олейник О. И. Особенности сварки вольфрамовым электродом с активирующим флюсом (АТИГ-процесс) // Там же. — 1999. — № 12. — С. 20-29.
8. Welding tests on stainless steel with the Paton A-TIG method / J. Eriksson, H. Limu, N. Hannerz et al. // Proc. of the 5th world conf. «Duplex stainless steel 97» (Maastricht, Oct. 21-23, 1997). — Maastricht, 1997. — P. 369-375.
9. Paskell T., Lundin C., Castner H. GTAW flux increases weld joint penetration // Welding J. — 1997. — № 4. — P. 57-62.
10. Perry N., Morya S., Soutif E. Study and deformation of flux enhanced GTA penetration in a commercial grade titanium // Proc. of the 5-th Intern. conf. on trends in welding research ASM/AWS (Pipe Mountain, Georgia, June 1-5, 1998). — Georgia, 1998. — P. 13-23.
11. Ющенко К. А., Коваленко Д. В. О сотрудничестве Британского института сварки и Института электросварки им. Е. О. Патона // Автомат. сварка. — 1994. — № 1. — С. 54-55.
12. Yushchenko K. A., Savitskiy M. M., Kovalenko D. V. A-TIG welding of carbon-manganese and stainless steel // Proc. conf. welding technology Paton Institute (Abington, Oct., 1993). — Abington, 1993. — P. 254.
13. Lucas W., Howse D. Activating flux — increasing the performance and productivity of the TIG and plasma processes // Welding and Metal Fabrication. — 1996. — № 1. — P. 11-17.
14. Применение активирующего флюса при автоматической сварке трубопроводов АЭС / И. Я. Станкевич, В. И. Дмитриев, В. Л. Кариди и др. // Энерг. стр-во. — 1982. — № 10. — С. 19-20.
15. Ющенко К. А., Коваленко Д. В., Коваленко И. В. Аэрозольный активатор ПАТИГ С-А для А-ТИГ сварки сталей // Сварщик. — 1998. — № 3. — С. 21-22.
16. Lucas W. Activating flux — improving the performance of the TIG process // Welding and Metal Fabrication. — 2000. — № 2. — P. 7-10.
17. А-ТИГ сварка никелевого сплава Нимоник-75 / К. А. Ющенко, И. В. Коваленко и др. // Сварщик. — 2000. — № 4. — С. 26-27.

Поступила в редакцию 16.01.2001