

4171266

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКОЕ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

На правах рукописи

А.Д. КОРНЕЕВ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОД СЛОЕМ
ОЛЮСА (ЗАКРЫТОЙ ДУГОЙ)

(Диссертация написана на русском языке)

(0.5.167 "Машины и технология сварочного производства")

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКОЕ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

На правах рукописи

А.Д. КОРНЕЕВ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОД СЛОЕМ
ФЛЮСА (ЗАКРЫТОЙ ДУГОЙ)

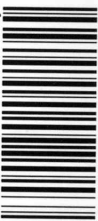
(Диссертация написана на русском языке)

(0,5.167 "Машины и технология сварочного производства")

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НГБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1171266

Корнеев А. Д. Разработка и

М174266

Работа выполнена в Илановском металлургическом институте на кафедре "Оборудование и технология сварочного производства".

Научный руководитель доктор технических наук
профессор К.В. Багрянский

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Г.Д. Никифоров
кандидат технических наук, доцент В.М. Ямпольский

Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-технологический институт химического машиностроения, г. Пенза.

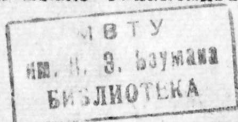
Автореферат разослан 1972 г.

Защита диссертации состоится..... 1972 г.

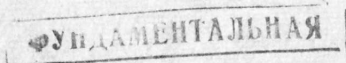
на заседании Ученого Совета факультета АМ Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005 Москва, 2-ая Бауманская ул. дом 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просьба высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке училища.



Ученый секретарь Совета



В В Е Д Е Н И Е

Алюминий и его сплавы, благодаря своим физико-химическим свойствам, малому удельному весу, относительно высоким показателям механических свойств, хорошей коррозионной стойкости во многих агрессивных средах, находят широкое применение при изготовлении железнодорожных цистерн, котлов, резервуаров для транспортировки и хранения различных жидкостей, труб, а также различной химической аппаратуры. Согласно контрольным цифрам, утвержденным XXIV съездом КПСС по девятому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 г.г., потребность в таких изделиях резко возрастет. Например, только химическая промышленность должна увеличить выпуск продукции в 1,7 раза. Для успешного решения этих задач пятилетним планом предусмотрено повысить производство алюминия на 50-60 %.

Для изготовления изделий преимущественно применяется листовой металл толщиной 10-40 мм, а в качестве одного из ведущих и прогрессивных процессов получения неразъемных соединений широко используется сварка плавлением. Доля сварочных работ при изготовлении указанных изделий по трудоёмкости составляет 70-80%. Так, например, при изготовлении котла алюминиевой железнодорожной цистерны протяженность сварных швов составляет 100 м, а при изготовлении отдельных аппаратов для химической промышленности длина швов достигает 500 м.

Широкое внедрение в промышленность алюминиевых сплавов вызывает необходимость совершенствования имеющихся способов их сварки и разработки новых способов, обеспечивающих получение сварных соединений высокого качества, способных работать в различных агрессивных средах, при сложном статическом и динамическом нагружении. Актуальность таких исследований неоднократно отмечалась в планах Координационного Совета по сварке и записана в программе развития сварочного производства, утвержденной Советом Министров СССР на 1971-1975 г.г.

В связи с этим целью данной работы и является исследование и разработка нового процесса сварки алюминия и некоторых его сплавов, позволяющего повысить качество сварных соединений, производительность и улучшить санитарно-гигиенические условия труда рабочих.

Г л а в а I

СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ СВАРКИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТОЛСТОЛИСТОВОГО АЛЮМИНИЯ

В настоящее время в промышленности для сварки толстолистого алюминия и его сплавов применяют автоматическую дуговую сварку в среде защитных газов или по слою флюса.

При сварке в защитных газах практически отсутствует возможность металлургической обработки металла шва и потому необходимо использовать все сварочные материалы высокой степени чистоты. Кромки свариваемых деталей и электродную проволоку перед сваркой подвергают механической или химической обработке с целью удаления окисных пленок и других загрязнений. Для металла толщиной более 12 мм сварка производится в несколько проходов. Технология многопроходной сварки требует обязательной механической разделки и качественной подготовки свариваемых кромок, подрубки корня шва и тщательной зачистки промежуточных слоев в процессе получения сварного соединения, что существенно снижает производительность. Многослойная сварка способствует возникновению в изделии значительных деформаций. Применяемые защитные газы пока еще дефицитны и дороги.

Санитарно-гигиенические условия труда по количеству выделяемых аэрозоля и газов, по интенсивности ультрарадиационного излучения в несколько раз превышают нормативные данные. Например, при сварке в зоне дыхания сварщика содержится 0,9 мг/м³ озона, что в девять раз выше допустимой нормы.

Автоматическая сварка алюминия и его сплавов по слою флюса способствует улучшению металлургической обработки металла шва в процессе сварки и повышению производительности, но открытая дуга не позволяет регулировать и поддерживать постоянным газовый состав в реакционном пространстве, определяющий в конечном итоге постоянство и высокое качество металла шва.

С повышением влажности окружающей атмосферы возрастает опасность образования пористости металла шва. Особенно трудно избавиться от газовых пор при сварке металла толщиной более 20 мм. Иногда металл шва бывает загрязнен шлаковыми включениями. При увеличении высоты слоя флюса выше оптимальной сварное соединение получить вообще невозможно из-за перехода дугового процесса в электрошлаковый.

Из-за открытой дуги при сварке алюминия по слою флюса рабочая атмосфера, кроме пыли и газов, дополнительно загрязняется озоном, окислами азота, превышающими в десятки раз санитарные нормы. Процесс сварки открытой дугой по слою флюса сопровождается интенсивной ультрафиолетовой радиацией.

Таким образом, рассмотренные механизированные способы сварки толстолистового алюминия имеют ряд существенных недостатков. Поэтому возникла необходимость в разработке такого процесса сварки, который, сохраняя положительные качества имеющихся способов, позволит контролировать металлургические процессы в реакционной зоне и управлять ими.

Таким процессом может быть дуговая автоматическая сварка алюминия и его сплавов под слоем флюса закрытой дугой. Для осуществления такого процесса невозможно использовать существующие флюсы в связи с их высокой электропроводностью. Естественно непригодны также и все используемые ранее технологические приёмы и рекомендации. Необходимо было разработать и исследовать флюс с низкой электропроводностью в расплавленном состоянии, позволяющий получать устойчивый процесс горения дуги при полном её погружении под флюс и изоляции от окружающей атмосферы. Флюс должен обладать хорошими технологическими качествами, малой гигроскопичностью и состоять из недорогих и недефицитных компонентов.

Применение керамического флюса при сварке алюминиевых сплавов закрытой дугой должно обеспечивать: хорошую защиту зоны сварки от непосредственного контакта с воздухом атмосферы; необходимую металлургическую обработку металла сварочной ванны при постоянном газовом составе в реакционном пространстве, что позволит получать металл шва высокого и достаточно стабильного качества; возможность получать необходимый химический состав металла шва и модифицировать его путем микролегирования через флюс; существенное улучшение санитарно-гигиенических условий труда; упрощение и улучшение условий работы сварочного оборудования.

В связи с большими отличиями предлагаемого способа сварки от существующих, одной из задач настоящей работы являлось создание нового технологического процесса, обеспечивающего повышение производительности труда и улучшение качества сварных соединений.

Г л а в а П

ВОЗМОЖНОСТИ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ АЛЮМИНИЯ БОЛЬШИХ ТОЛЩИН ПОД ФЛЮСОМ

При сварке алюминия плавлением возникают трудности, характерные для цветных металлов вообще, которые усугубляются особенностями, присущими алюминию и сплавам на его основе. Такими специфическими особенностями алюминия в процессе получения сварного соединения являются:

- 1) высокая тепло- и электропроводность алюминия;
- 2) весьма высокое химическое сродство к кислороду;
- 3) повышенная склонность металла к образованию пор;
- 4) пониженная стойкость металла к образованию кристаллизационных трещин;
- 5) резкое понижение механических свойств металла в области, близкой к температуре плавления;
- 6) малый интервал температур пластического состояния при переходе алюминия из твердой фазы в жидкую и наоборот.

На основании детального анализа физико-химических свойств алюминия установлено, что для преодоления всех специфических трудностей сварки этого металла наиболее целесообразно использовать процесс дуговой сварки под слоем керамического флюса (закрытой дугой), что позволяет:

- 1) получить мощный и концентрированный источник нагрева;
- 2) закрыть реакционную зону от взаимодействия с окружающей атмосферой и регулировать состав газовой фазы в зоне дуги;
- 3) производить необходимую металлургическую обработку - легирование, модифицирование, рафинирование путем введения соответствующих активных добавок в керамический флюс.

Попытки осуществить сварку алюминия при закрытой дуге под флюсом предпринимались неоднократно как в СССР, так и за рубежом, однако до последнего времени они не дали положительных результатов.

Для осуществления процесса сварки алюминия и его сплавов закрытой дугой под флюсом необходимо разработать активный флюс с низкой электропроводностью и малой гигроскопичностью и техно-

логический процесс, обеспечивающий получение сварных соединений высокого качества. Электропроводность флюса, как ионного расплава, можно понизить за счет введения в него компонентов, которые в результате химических воздействий образуют громоздкие и малоподвижные комплексные ионы, дают соединения с ковалентной связью или образуют комплексные кислородосодержащие ионы.

С целью предупреждения порообразования и повышения плотности металла шва необходимо прежде всего снизить количество влаги, вносимое с флюсом в реакционное пространство путем введения в него компонентов, обладающих гидрофобными свойствами, а также создать благоприятные условия для дегазации металла сварочной ванны в процессе сварки. В этом отношении применение расщепленного электрода способствует увеличению объема сварочной ванны и времени её существования, что создаст благоприятные условия для активной металлургической обработки расплавленного металла и более полной его дегазации за счет всплывания пузырьков водорода

Г л а в а III

ИССЛЕДОВАНИЯ И ВЫБОР ШЛАКОВОЙ ОСНОВЫ ФЛЮСА

Термодинамические расчеты в применении к металлургическим процессам, протекающим в реакционном пространстве, позволяют получить лишь их качественную оценку, характер и направление. Однако и такие данные могут быть полезными при выборе компонентов флюса. Расчет проведен по энтропийным уравнениям.

$$\Delta Z_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T \cdot \Delta S_{298}^0 \quad (1)$$

Были рассмотрены процессы образования оксидов, хлоридов и фторидов различных элементов, а также установлена возможность растворения в алюминии и раскисления жидкого металла различными элементами в зависимости от температуры и концентрации. Определение изменения свободной энергии растворения производили по уравнению

$$\Delta Z_{T, \text{раствор}}^0 = 4,576 \cdot \lg \frac{d_{\text{Al}} \cdot \% \text{Me}}{100 \cdot d_{\text{Me}} + K \cdot \% \text{Me}} \quad (2)$$

Тогда полное изменение свободной энергии растворения системы

будет

$$\Delta Z_{\text{системы}}^0 = \Delta Z_{\text{т диссоц.}}^0 - \Delta Z_{\text{т раств.}}^0 \quad (3),$$

а для раскисления

$$\Delta Z_{\text{т системы}}^0 = \Delta Z_{\text{т диссоц.}}^0 - \Delta Z_{\text{т раствор}}^0 - \Delta Z_{\text{т раскисл.}}^0 \quad (4)$$

В таблицах I, 2, 3 приведены некоторые данные для расчетов.

Таблица I

№ уравнения	Химические реакции	Уравнения $\Delta Z_{\text{т}}^0$, кал/моль O_2	Температурный интервал, °K
5-а	$\frac{4}{3} Al_{\text{т}} + O_{2\text{г}} \rightleftharpoons \frac{2}{3} Al_2O_{3\text{т}}$	$\Delta Z_{\text{т}}^0 = -256600 + 43,3T$	до 930
5-б	$\frac{4}{3} Al_{\text{ж}} + O_{2\text{г}} \rightleftharpoons \frac{2}{3} Al_2O_{3\text{т}}$	$\Delta Z_{\text{т}}^0 = -257530 + 44,3T$	930+2323
5-в	$\frac{4}{3} Al_{\text{ж}} + O_{2\text{г}} \rightleftharpoons \frac{2}{3} Al_2O_{3\text{ж}}$	$\Delta Z_{\text{т}}^0 = -240110 + 36,8T$	2323+2329
6-а	$Si_{\text{т}} + O_{2\text{г}} \rightleftharpoons SiO_{2\text{т}}$	$\Delta Z_{\text{т}}^0 = -208300 + 43,43T$	298+1687
6-б	$Si_{\text{ж}} + O_{2\text{г}} \rightleftharpoons SiO_{2\text{т}}$	$\Delta Z_{\text{т}}^0 = -21777 + 49,045T$	1687+1986
7-а	$2Mn_{\text{т}} + O_{2\text{г}} \rightleftharpoons 2MnO_{\text{т}}$	$\Delta Z_{\text{т}}^0 = -183900 + 34,70T$	290+1517
7-б	$2Mn_{\text{ж}} + O_{2\text{г}} \rightleftharpoons 2MnO_{\text{т}}$	$\Delta Z_{\text{т}}^0 = -190800 + 39,25T$	1517+2051
8-а	$2Mg_{\text{т}} + O_{2\text{г}} \rightleftharpoons 2MgO_{\text{т}}$	$\Delta Z_{\text{т}}^0 = -290400 + 46,73T$	до 923
8-б	$2Mg_{\text{ж}} + O_{2\text{г}} \rightleftharpoons 2MgO_{\text{т}}$	$\Delta Z_{\text{т}}^0 = -298400 + 55,4T$	923+1380
9-а	$2Ca_{\text{т}} + O_{2\text{г}} \rightleftharpoons 2CaO_{\text{т}}$	$\Delta Z_{\text{т}}^0 = -302630 + 47,32T$	до 1122
9-б	$2Ca_{\text{ж}} + O_{2\text{г}} \rightleftharpoons 2CaO_{\text{т}}$	$\Delta Z_{\text{т}}^0 = -307100 + 51,30T$	1122+1760

Таблица 2

№ уравнения	Химическая реакция	Уравнения $\Delta Z_{\text{т системы}}^0$ образования растворов, кал/моль O_2
Ю	$(Si) + O_2 \rightleftharpoons (SiO_2)$	$\Delta Z_{\text{т сист.}}^0 = \Delta Z_{\text{т(б)}}^0 - \Delta Z_{\text{т(з)}}^0$
	$(Si) \rightleftharpoons [Si]$	
	$[Si] + O_2 \rightleftharpoons (SiO_2)$	
II	$2(Mg) + O_2 \rightleftharpoons 2(MgO)$	$\Delta Z_{\text{т сист.}}^0 = \Delta Z_{\text{т(б)}}^0 - 2\Delta Z_{\text{т(з)}}^0$
	$2(Mg) \rightleftharpoons 2[Mg]$	
	$2[Mg] + O_2 \rightleftharpoons 2(MgO)$	

Таблица 3

№ уравнения	Химическая реакция	Уравнения раскисления, ΔZ_T° оист. кал/моль O_2
12	$2(Ca) + O_2 \rightleftharpoons 2(CaO)$	
	$2(Ca) \rightleftharpoons 2[Ca]$	
	$\frac{4}{3}[Al] + O_2 \rightleftharpoons \frac{2}{3}(Al_2O_3)$	$\Delta Z_T^{\circ} \text{ сумм.} = \Delta Z_T^{\circ}(9) - 2\Delta Z_T^{\circ}(2) - \Delta Z_T^{\circ}(5)$
	$\frac{2}{3}(Al_2O_3) + 2[Ca] \rightleftharpoons 2(CaO) + \frac{4}{3}[Al]$	

На основании термодинамических расчетов было установлено, 1) что оксиды любых элементов известных в природе не могут служить шлаковой основой флюса, предназначенного для сварки алюминия; 2) концентрация растворенных в алюминии элементов, находящихся в равновесии со своими оксидами, с повышением температуры возрастает, что позволяет получать заданный химический состав металла шва и модифицировать его путем микролегирования через керамический флюс; 3) растворенные в жидком алюминии кальций при концентрации выше 0,001 %; магний - выше 0,02 %; литий - выше 1,0% могут служить раскислителями.

На основании термодинамических расчетов, опыта исследователей по сварке и пайке алюминия, а также учитывая теорию и практику металлургии алюминия, нами в качестве компонентов для компоновки шлаковой основы флюсов были выбраны криолит, фтористый барий, хлористый кадмий, хлористый натрий, хлористый калий, хлористый кальций, фтористый натрий, фтористый кальций.

На основании анализа технологических, физико-химических и металлургических свойств более 800 солевых композиций установлено, что для керамического флюса, позволяющего производить сварку алюминия при закрытой дуге, лучшие результаты показала тройная система $Na_3AlF_6 - KCl - NaCl$, на базе которой в дальнейшем и проводились все исследования.

Для снижения электропроводности флюса на основании теоретических предпосылок были выбраны CaF_2 , $K_2Cr_2O_7$, Na_2CO_3 , MnO_2 , SiO_2 . Результаты экспериментов показали, что все выбранные компоненты при введении их во флюс позволяют производить сварку алюминия при полностью закрытой дуге, но качественное сварное соединение можно получить при введении в шлаковую основу 3-4% SiO_2 или 4-6 % MnO_2 .

Для флюсов системы $Na_3AlF_6 - KCl - NaCl - SiO_2$ определялись электропроводности. В расплаве этих флюсов будут следующие ионы Na^+ , K^+ , Cl^- , AlF_6^{3-} , AlF_4^- , AlF_2^+ , Na_2F^+ , $Si_2O_7^{2-}$, $SiO_2F_2^{2-}$. Содержание комплексных и кислородосодержащих ионов будет зависеть от количества Na_3AlF_6 и SiO_2 во флюсе. Результаты экспериментов (рис. I) показали, что повышение содержания SiO_2 во флюсе на 1 % вызывает снижение удельной электропроводности в среднем на 0,35-0,40 $ом^{-1}см^{-1}$, а для криолита - 0,014-0,015 $ом^{-1}см^{-1}$. Для серии флюсов были исследованы электропроводность, температура плавления, насыпной вес, плотность в расплаве и жидкотекучесть. Для некоторых физических свойств флюсов выведены формулы.

На основании теоретических и экспериментальных данных разработан керамический флюс (авторское свидетельство 180074), позволяющий производить дуговую сварку алюминия под флюсом.

Разработан флюс для сварки сплава АМц закрытой дугой.

Г л а в а IV

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ АЛЮМИНИЯ ЗАКРЫТОЙ ДУГОЙ ПОД ФЛЮСОМ

В этой главе приведены результаты исследований по разработке технологического процесса автоматической односторонней сварки алюминия и его сплавов под флюсом. Были определены экспериментальным путем диаметр, а также оптимальное расстояние между проволоками расщепленного электрода.

На основании исследований с учетом геометрических параметров и шва и качества сварного соединения за исходное расстояние между проволоками расщепленного электрода было взято 12+14 мм.

Сварка алюминия под флюсом позволяет получать сварные соединения за один проход, что в сравнении с многопроходной сваркой существенно повышает производительность, уменьшает разупрочнение металла в зоне термического влияния и его деформацию. Для удержания и формирования жидкого металла с обратной стороны сварку следует производить на подкладках. Были исследованы подкладки из сыпучих материалов (АН-348, ОСЦ-15, ФЛ-6, АН-26, АН-60) и металлических пластин из различных металлов. Исследовалось влияние подкладки на формирование металла шва, его химический состав, механические свойства и др. свойства сварных соединений при изме-

нении усилия поджатия подкладки, формы формирующей канавки и условий сварки: "на подъём", "углом вперед", "углом назад", сварка по зазору. При сварке на подкладках из сыпучих материалов не удалось обеспечить равномерное формирование металла шва на соединениях длиной более 1 м. Применение стальной подкладки с овальной формирующей канавкой глубиной 3-4 мм при сварке "углом вперед" (20°) по зазору обеспечивает получение качественного сварного соединения, что проверено в производственных условиях на швах длиной более 10 м.

На качество сварного соединения из алюминия оказывает влияние подготовка поверхности электродной проволоки и свариваемых кромок листов. Сравнивалось влияние трех способов подготовки кромок: строжки на строгальном станке, порезки на ножницах и газосварочной резки. Электродная проволока готовилась по стандартной технологии и хранилась в помещении цеха 7 суток. При сварке алюминия закрытой дугой под флюсом способ подготовки кромок под сварку не оказывает влияния на качество сварных соединений, что объясняется повышенной активностью применяемого флюса.

Исследование тепловых процессов при сварке алюминия закрытой дугой под флюсом показало, что эффективный КПД при сварке металла толщиной 20-25 мм составляет 0,77-0,80, а расчет температур можно производить по формуле

$$T_{(z,x)} = \frac{q_u}{2\pi \cdot \lambda \cdot \delta} \cdot e^{-\frac{V \cdot x}{2a}} \cdot K_0\left(z \cdot \sqrt{\frac{V^2}{4a^2} + \frac{\delta}{a}}\right) \quad (13)$$

При этом З.Т.В. по сравнению со сваркой по слою флюса уменьшается в 1,5-1,8 раза, что способствует повышению механических свойств сварных соединений.

На основании результатов исследований и расчетных данных разработана номограмма выбора режима автоматической односторонней сварки алюминия и его сплавов под флюсом закрытой дугой. Номограмма проверена на ряде заводов при изготовлении сварных конструкций. Рис. 2.

Г Л А В А У

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ШВА И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Металл шва и сварные соединения, полученные при сварке алюминия и его сплавов под флюсом по разработанной технологии, были подвергнуты всесторонним исследованиям в заводских лабораториях.

Химический состав металла шва по сечению и по длине при сварке алюминия и сплава АМц под керамическим флюсом по разработанной техно-

логии практически остается постоянным и соответствует ГОСТам на основной металл. Через керамический флюс можно легировать и модифицировать металл шва Si , Mn , Fe , Ti и др. элементами, получая заданный химический состав. Для Mn и Ti установлены коэффициенты перехода этих элементов в металл шва в зависимости от их содержания во флюсе.

В процессе испытания сварных соединений, полученных при сварке под флюсом, для различных толщин металла (10+28 мм) практически все испытанные на разрыв образцы разрушились по зоне термического влияния. Таким образом, разрывные усилия (7,7+8,5 кг/мм²) относятся к основному металлу, подвергнутому нагреву в процессе сварки, поэтому возникла необходимость детального исследования металла зоны термического влияния. На основании ранее снятых термических циклов была разработана методика исследования, согласно которой отжиг образцов производился в специальном приспособлении на контактной машине МТП-75. Термический цикл контролировался и регулировался с помощью реконструированного для этих целей потенциометра.

Результаты исследований показали, что наибольшая потеря прочности на разрыв с 8,58 кг/мм² до 6,37 кг/мм² и повышение удлинения с 36,8 % до 45,3 % происходит при нагреве от 280° до 400° С. При этой температуре возможно снятие наклепа, укрупнения зерна и коагуляция второй фазы в виде сплошных линий по границам зерен. Для уменьшения явления разупрочнения основного металла в околосварочной зоне целесообразно многопроходную сварку заменять однопроводной и процесс вести на минимально возможной погонной энергии. Одновременно была разработана методика исследования сварного соединения и металла шва на механическую прочность при температурах ± 60° С. Были исследованы образцы, полученные при сварке под разработанным флюсом ЖА-64 и по слою флюса АН-АІ. По результатам испытаний после математической обработки выведена общая формула для определения предела прочности основного металла и металла шва на разрыв в температурном интервале ± 60° С.

$$\sigma_B^T = \sigma_B^{20} - \Delta \sigma (T - 20) \quad (14)$$

Механические свойства сварного соединения и металла шва, полученного при сварке под флюсом ЖА-64, на 6-20 % выше, чем при сварке по слою флюса АН-АІ, что объясняется более глубокой металлургической обработкой металла сварочной ванны, легированием в допустимых пределах металла шва кремнием и уменьшением З.Т.В.

Испытания на коррозионную стойкость сварных соединений произво-

дились по методике института электросварки им. Е.О.Патона. Результаты исследований показали, что образцы сварных соединений, полученных при сварке под флюсом ЖА-64 по разработанной технологии, имеют коррозионную стойкость выше основного металла. При длительных коррозионных испытаниях (36 час.) установлено, что скорость коррозии сварных соединений остается постоянной во времени.

Рентгеновское просвечивание сварных соединений (более 300 м) и металлографические исследования показали, что металл шва не имеет дефектов (пор, трещин, шлаковых включений и т.д.). Однако путем экспериментов установлено, что через флюс и электродную проволоку, длительное время находившихся на открытом воздухе, в реакционное пространство вносится $0,09 \pm 0,10$ г влаги на 100 г расплавленного металла при сварке пластин $\delta = 10$ мм и соответственно $0,05 \pm 0,06$ для пластин толщиной 25 мм. Поэтому возникла необходимость изучения кинетики дегазации металла сварочной ванны в процессе сварки под флюсом. На основании расчетных и опытных данных было определено время существования сварочной ванны (рис.3) в различных температурных диапазонах и диаметр газовых пор ($0,018 \pm 0,021$ мм), остающихся в металле шва (рис.4), которые практически не оказывают влияния на свойства сварного соединения.

Применение сварки "углом вперед" расщепленным электродом способствует интенсивному перемещению расплавленного металла в переднюю часть сварочной ванны. На этом участке градиент падения температуры металла составляет $70-80^\circ \text{C/мм}$. Кроме того, металл передней части сварочной ванны содержит повышенное количество оксида алюминия ($0,0063 \pm 0,0092\%$, а в основном металле $0,0037 \pm 0,0051\%$), способствующего зарождению микропор. Таким образом, в передней части сварочной ванны имеются благоприятные условия для интенсивной дегазации металла через газовые пузырьки.

В процессе сварки флюс активно очищает расплавленный металл от оксида алюминия. И в хвостовой части сварочной ванны его содержание таково ($0,001 \pm 0,0020\%$), что практически исключается возможность зарождения микропор. В работе показано, что разработанный процесс сварки алюминия закрытой дугой за счет высокой активности флюса, относительно большого времени существования сварочной ванны (для металла $\delta = 25$ мм $t = 27$ сек) и особых условий (сварка "углом вперед") позволяет получать сварные соединения высокого качества.

Суммарное количество водорода, определенное гидроstaticеским взвешиванием и методом вакуумной экстракции, находящегося в металле

шва, полученного при сварке алюминиевых пластин различной толщины по разработанной технологии под флюсом, равно $0,31-0,43 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металла, что значительно меньше равновесной концентрации ($0,69 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металла) для температуры кристаллизации металла.

Г л а в а VI

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Разработанный процесс сварки алюминия и его сплавов прошел опытное внедрение на Ждановском заводе тяжелого машиностроения, Пензенском и Моршанском заводах химического машиностроения. Однопроходная односторонняя сварка алюминия под флюсом была применена при изготовлении ёмкостей различного объёма с толщиной стенки от 12 до 28 мм, предназначенных для транспортировки крепкой азотной кислоты, молока и т.д., а также для химической промышленности. Для внедрения нового процесса на заводах необходимо было реконструировать имеющуюся оснастку или спроектировать и изготовить новую, применительно к разработанной технологии. Была разработана оснастка для сварки полных и кольцевых стыков. В заводских условиях было сварено 50 изделий. К каждому изделию производилась сварка контрольной планки, из которой изготавливались образцы для испытания на разрыв, загиб и коррозию. Швы всех изделий были подвергнуты 100 %-ному рентгеновскому просвечиванию. Проведение испытания сварных соединений и металла шва показали достаточно высокое их качество.

По данным Ждановского завода тяжелого машиностроения проведен сравнительный расчет технологической себестоимости одного погонного метра шва при сварке алюминия А5 толщиной 25 мм под флюсом ЖА-64, по слою флюса АН-А1 и в среде аргона. Показано, что при сварке алюминия под флюсом ЖА-64 как переменные, так и постоянные расходы меньше, чем при сварке по слою флюса АН-А1 или в аргоне. Экономический эффект в основном достигается за счет применения однопроходной односторонней сварки под флюсом без механической разделки кромок.

Исследование санитарно-гигиенических условий труда при сварке алюминия под флюсом ЖА-64 было проведено в лабораторных и заводских условиях. При сварке алюминия разработанным способом загрязнение воздушной среды пылью и газами практически соответствует санитарным нормам, тогда как при сварке тех же изделий по слою флюса загазованность и запыленность атмосферы на уровне дыхания сварщика в 10-40 раз выше нормы. При сварке по предлагаемому способу отсутствуют

ультрарадиационное излучение, образование озона и окислов азота. Исследованы различного типа пылегазоприёмники и установлено, что при сварке алюминия под флюсом ЖА-64 применение щелевого приёмника существенно улучшает санитарно-гигиенические условия труда, особенно при сварке швов большой протяженности.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены достоинства и недостатки механизированных способов сварки алюминия и его сплавов. Показано, что существующие способы сварки толстолистового металла имеют ограниченные возможности металлургической обработки металла сварочной ванны, что иногда отрицательно сказывается на качестве получаемого сварного соединения.

2. Расчетным и экспериментальным путем установлена возможность сварки алюминия и его сплавов под флюсом, что обеспечивает:

а) хорошую защиту зоны сварки от непосредственного контакта с окружающим воздухом и необходимую металлургическую обработку металла сварочной ванны, что позволяет получать металл шва достаточно стабильного качества;

б) возможность получать заданный химический состав металла шва путем легирования через керамический флюс;

в) вполне удовлетворительные санитарно-гигиенические условия труда;

г) упрощение сварочного оборудования и условий его работы.

3. На основании анализа физико-химических, металлургических и технологических свойств более 800 солевых композиций показано, что флюсы для сварки алюминия закрытой дугой могут быть составлены из хлоридов и фторидов щелочных и щелочно-земельных металлов с обязательным введением компонентов с низкой или нулевой электропроводностью.

Разработана серия флюсов, имеющих малую плотность, низкую температуру плавления и электропроводность, что обеспечивает устойчивый электродуговой процесс при сварке алюминия и его сплавов закрытой дугой под флюсом.

4. Впервые в отечественной и мировой практике разработан технологический процесс автоматической однопроходной односторонней сварки алюминия и некоторых его сплавов закрытой дугой под флюсом. На основании обработки экспериментальных данных разработана номограмма выбора режимов сварки.

5. Экспериментально исследованы процессы распространения тепла

в основном металле при электродуговой односторонней сварке под флюсом технического алюминия. Показано, что термический цикл может быть приближенно рассчитан по известному уравнению предельного состояния процесса распространения тепла при нагреве пластины линейным, подвижным постоянно действующим источником тепла.

6. Исследованы химический состав, структура, механические свойства при плюсовых и минусовых температурах, коррозионная стойкость и др. свойства сварных соединений, металла шва и зоны термического влияния.

Показано, что химический состав металла шва соответствует ГОСТу на основной металл, коэффициент прочности сварных соединений составляет не менее 0,9, а коррозионная стойкость сварных соединений из толстолистового металла выше, чем у основного металла.

7. Исследована кинетика дегазации металла сварочной ванны в процессе сварки. Экспериментальным путем установлено, что суммарное содержание газа в металле шва не превышает $0,5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металла.

8. Санитарно-гигиенические условия труда при сварке алюминия под флюсом существенно улучшаются по сравнению с другими механизированными способами сварки. Показано, что путем исследований в лабораторных и производственных условиях при сварке закрытой дугой количество выделяемых аэрозоля и газов практически соответствует нормативным данным. При этом атмосфера цеха не загрязняется озоном, окислами азота и ультрарадиационным излучением, образование которых неизбежно при сварке открытой дугой.

9. Разработанный способ сварки алюминия под флюсом прошел опытное внедрение при изготовлении узлов котлов железнодорожных цистерн и ёмкостей для химической промышленности.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. А.Д.Корнеев, К.В.Багрянский, Д.С.Кассов, О.М.Пенков. Авторское свидетельство на керамический флюс для сварки алюминия № 180074 от 9 мая 1963 г. Бюллетень изобретений и товарных знаков № 6, 1966 г.

2. Д.С.Кассов, К.В.Багрянский, Д.П.Антонец, А.Д.Корнеев, О.М.Пенков. Автоматическая сварка алюминия под керамическим флюсом. Сварочное производство, № 4, 1965 г.

3. К.В.Багрянский, А.Д.Корнеев, В.Я.Зусин, В.К.Ханахбей. Влияние способа подготовки кромок на качество сварного соединения при сварке алюминия под флюсом. Сварочное производство, № 4, 1968 г.

4. К.В.Багрянский, А.Д.Корнеев, В.Я.Зусин, Г.А.Бухалова, В.Т.Мальцев, Е.С.Ягубьян. Исследование электропроводности некоторых

флюсов для электродуговой сварки алюминия. Сварочное производство, № 4, 1969 г.

5. К.В.Багрянский, А.Д.Корнеев, В.Я.Зусин, Г.А.Бухалова, В.Т.Мальцев, Е.С.Ягубян. Влияние модуля криолита на свойства флюсов и сварных соединений при автоматической сварке алюминия закрытой дугой. Сварочное производство, № 2, 1972 г.

6. К.В.Багрянский, З.А.Добротина, А.Д.Корнеев. Исследование и разработка технологии сварки толстолистового алюминия закрытой дугой. Тезисы докладов на юбилейной республиканской межвузовской конференции г.Запорожье, 1967 г.

7. К.А.Олейниченко, К.В.Багрянский, А.Д.Корнеев, М.П.Казаков. Гигиеническая оценка некоторых вариантов технологии автоматической дуговой сварки алюминия. Сварочное производство, № 2, 1967 г.

8. К.А.Олейниченко, А.Д.Корнеев, В.Я.Зусин, Л.Ф.Араева. Токсичность воздушной среды при сварке алюминия под флюсом. Сварочное производство, № 3, 1968 г.

9. К.А.Олейниченко, А.Д.Корнеев, В.Я.Зусин, М.П.Казаков. Концентрация озона в рабочей зоне при сварке алюминия. Сварочное производство, № 7, 1970 г.

По результатам работы были сделаны два доклада в г. Жданове на конференциях металлургического института, на семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" в МВТУ и на кафедре "Металлургия и технология сварочного производства" в МАТИ г.Москва, на Всесоюзных конференциях по сварке в г.Волгограде, Ереване и Пензе.



БП 04836 подписано к печати 9/УІ-1972. года
гор.Жданов ЖдМИ Ромайор зак. № 0619, тир. 180 экз. 15/УІ-1972г.

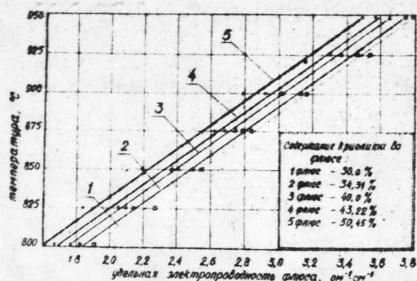


Рис. I Электропроводность флюсов в зависимости от содержания а) кварцевого песка, б) криолита

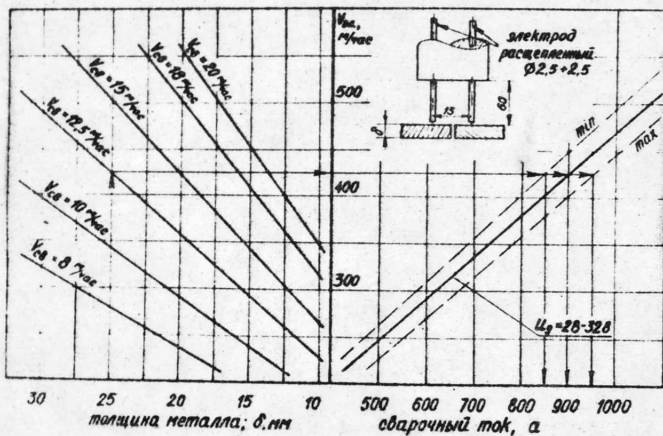


Рис.2 Номограмма выбора режимов

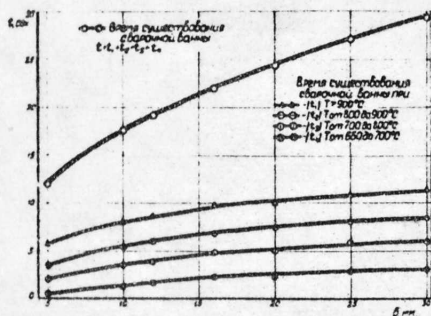


Рис.3 Время существования сварочной ванны

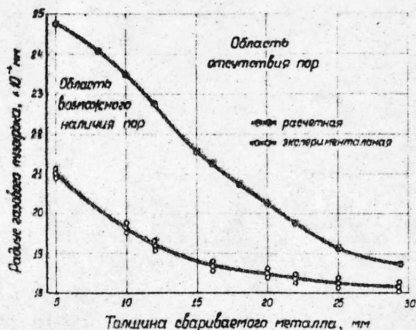


Рис. 4 Дегазация металла шва