

УДК 621.791.01; 621.791.03

**ДУГОВАЯ СВАРКА И ПАЙКА ОЦИНКОВАННЫХ УЗЛОВ ТЕПЛОТРАСС  
И ИХ КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ****А.В. ЛУПАЧЁВ***(Белорусско-Российский университет, Могилёв);**д-р техн. наук, проф. С.К. ПАВЛЮК**(ООО «СМИТ-Ярцево», Смоленская обл., г. Ярцево)*

*Определены характерные участки повреждения цинкового покрытия на стали при дуговой сварке и пайке. Выявлены зависимости ширины участков повреждения от параметров режимов процесса. Установлена максимальная ширина повреждения цинкового покрытия, обеспечивающая действие анодной защиты. Исследованы и оценены коррозионные и прочностные свойства сварных и паяных соединений оцинкованных сталей в коррозионной среде, выполненных высокопроизводительными способами дуговой сварки и пайки с использованием новых электродных материалов на основе железа, меди, алюминия, цинка и современного оборудования применительно к строительству теплотрасс. Разработаны пути минимизации повреждения покрытия без потерь производительности и приближения коррозионной стойкости соединения к стойкости основного металла регулированием тепловложения и состава шва.*

**Введение.** Теплоснабжение промышленных объектов, гражданских и жилых зданий, строительство, реконструкцию и капитальный ремонт тепловых сетей и систем теплоснабжения в Республике Беларусь осуществляют преимущественно в бесканальном исполнении [1; 2]. Развитием современных способов энергосбережения, модернизацией и строительством теплотрасс с применением высокоэффективной теплоизоляции достигнуто существенное снижение теплоэнергетических потерь [3; 4]. При подземной прокладке используют теплогидроизолированные трубы с пенополиуретановой изоляцией в полиэтиленовой оболочке, а при наземной прокладке – трубы в спирально-навивной оболочке из тонколистовой оцинкованной стали [5].



Рис. 1. Концевые элементы трубопроводов из стальных труб в полиэтиленовой и оцинкованной спирально-навивной оболочке

Для защиты теплотрасс от вредного воздействия окружающей среды и продления срока эксплуатации трубопроводов при изготовлении герметичных узлов концевых и фасонных элементов из оцинкованных сталей и их монтаже используют сварку. Концевые элементы трубопроводов (рис. 1) изготавливают из оцинкованной стали с применением дуговой сварки и пайки. Трубопроводы систем теплоснабжения в процессе эксплуатации подвержены воздействию коррозионно-активных сред, высокой влажности воздуха (80...95 %) и повышенным температурам (130...150 °С). Нормативный срок эксплуатации изделия – 30 лет. При таком сроке эксплуатации обеспечение коррозионной стойкости сварных соединений является важной задачей, следовательно, необходим комплекс исследований по повышению коррозионной стойкости соединений из оцинкованных сталей и разработке соответствующих технологических процессов.

**Методика исследований, материалы и оборудование.** При выполнении исследований в качестве основного металла использованы трубы из низкоуглеродистой стали марки 10 диаметром 33,5...165 мм с толщиной стенки 4,25...7,5 мм по ГОСТ 3262-75 или ГОСТ 10705-80 с оцинкованием по ТУ14-162-55-99, и оцинкованная тонколистовая сталь 08Ю по ГОСТ 14918-69 толщиной 1,5 мм. Двустороннее цинковое покрытие толщиной 18...40 мкм нанесено горячим способом; масса 1 м<sup>2</sup> слоя покрытия составляет 258...570 г; качество поверхности соответствует ГОСТ 16523-97.

Ручную дуговую сварку выполняли покрытыми электродами УОНИИ 13/45 и МР-3 диаметром 3 мм. При механизированной дуговой сварке на установках Magster 351 и Powertec 300S фирмы Lincoln Electric (США) использовали стальные проволоки марок Св-08Г2С и Св-06Х19Н9Т. Дуговую пайку проволокой из медных сплавов марок CuSi3 и CuAl8 диаметром 1 мм осуществляли на установках Trans Puls Synergic 2700 фирмы «Fronius» (Австрия), Aristo Mig C300 фирмы Esab (Швеция) и Divari-Arc 320 фирмы Hermann Welding (Германия); дуговую пайку электродной проволокой из алюминиевого сплава марки AlSi5 – на установке Trans Puls Synergic 2700; дуговую пайку проволокой на основе цинка марки ZnAl4 диаметром 0,8 и 1 мм – на установке Phoenix 330 фирмы EWM (Германия). Такое разнообразие использованного оборудования вызвано необходимостью сравнительного исследования возможностей управления процессами сварки и пайки с использованием различных методов.

Ручную дуговую сварку выполняли на открытом воздухе, сварку стальными проволоками – в CO<sub>2</sub> и смеси Ag + CO<sub>2</sub>, дуговую пайку проволоками из цветных металлов – в аргоне.

Режимы сварки и пайки варьировались в пределах: сила сварочного тока  $I_{св} = 25 \dots 120$  А; напряжение на дуге  $U_d = 13 \dots 18$  В; скорость сварки  $V_{св} = 20 \dots 80$  м/ч; скорость подачи электродной проволоки  $V_{пл} = 2 \dots 5,2$  м/мин; расход защитного газа  $4 \dots 8$  л/мин. Погонная энергия составляла:  $q/V\delta = 9,6 \cdot 10^7$  Дж/м<sup>2</sup> – при дуговой сварке проволоками из сплава на основе железа с  $T_{пл} \approx 1500$  °С;  $q/V\delta = 5,76 \cdot 10^7$  Дж/м<sup>2</sup> – при дуговой сварке проволокой из медных сплавов с  $T_{пл} \approx 1000$  °С;  $q/V\delta = 2,55 \cdot 10^7$  Дж/м<sup>2</sup> – при дуговой пайке проволокой из алюминиевого сплава с  $T_{пл} \approx 600$  °С и проволокой на цинковой основе с  $T_{пл} \approx 450$  °С.

Структуру соединений исследовали на макрошлифах при увеличении  $\times 10$  и  $\times 20$ , а микроструктуру и характер повреждения покрытия изучали на металлографическом микроскопе Neophot 21 с цифровой регистрацией структур.

Коррозионные испытания образцов проводили в 0,75 %-ном растворе HCl + NaCl на дистиллированной воде в соответствии с ГОСТ Р 9.905.2007. В качестве информативных параметров процесса выбраны интенсивность образования пузырьков водорода, характер изменения отражения света от цинкового покрытия и время его растворения до основного металла.

**Результаты исследований.** При дуговой сварке стальным электродом расплавляются основной и электродные металлы. Шов образуется вследствие роста кристаллов шва с поверхности частично оплавленных зерен основного металла. При соединении оцинкованных сталей электродными проволоками на основе цветных металлов возможны два механизма образования соединения: с расплавлением основного металла и последующей кристаллизацией шва, содержащего определенную долю расплавленного основного металла, либо образование шва вследствие смачивания свариваемой стали расплавленным металлом. Последний процесс, по сути, является пайкой. В обоих случаях на границе «основной металл – металл шва» в процессе кристаллизации жидкого металла или диффузионных процессов формируется прослойка сложной структуры и состава.

На образцах, выполненных проволоками Св-08Г2С и Св-06Х19Н9Т, под воздействием термического цикла сварки вдоль шва образуется полоса повреждения цинкового покрытия шириной 8...12 мм. В образцах, выполненных проволоками CuSi3 и CuAl8, полоса повреждения цинкового покрытия вдоль шва составляла 0,5...1,4 мм. Образцы, паяные проволоками AlSi5 и ZnAl4, видимых следов повреждения цинкового покрытия не имели.

При использовании электродных проволок на основе алюминия возможно образование участков со случайным расплавлением основного металла, что приводит к образованию в шве хрупких интерметаллидных соединений (преимущественно Fe<sub>3</sub>Al).

В результате исследований структуры, состава и свойств паяных соединений установлено, что для обеспечения максимальных показателей прочности дуговую пайку проволоками из алюминиевых сплавов необходимо вести таким образом, чтобы дуга нагревала цинковое покрытие и не расплавляла сталь. В этом случае ограничивается переход железа в шов и обеспечивается пластичность шва. При соединении проволок из медных сплавов возможно расплавление стали, которое желательно ограничивать для уменьшения перехода железа в металл шва и негативного влияния на пластичность металла шва.

При пайке оцинкованных сталей сплавами на основе цинка для нагрева и плавления припоя часто применяют газовые горелки либо печи. Такие технологические процессы трудоемки и не всегда применимы для изготовления деталей и узлов трубопроводов. Более эффективны современные технологии, основанные на использовании дуговых процессов, обеспечивающие устойчивое горение дуги на малой силе сварочного тока и регулируемых периодических коротких замыканиях дугового промежутка. Это позволяет реализовать дуговую пайку оцинкованных сталей с использованием проволочного электрода из цинкового сплава. Эти процессы являются высокопроизводительными и отличаются локальным нагревом металла в процессе сварки.

Нагрев и плавление основного металла приводят к повреждению и разрушению цинкового покрытия вблизи шва, а стальной шов при этом не защищен от коррозии. Возможно повреждение цинкового покрытия с внутренней стороны трубы. В процессе эксплуатации теплотрасс производят местный ремонт или замену стальной изоляционной оболочки с поврежденным покрытием. Разрушение покрытия характеризуется шириной поврежденных участков и оставшейся после высокотемпературного нагрева толщиной слоя цинка. Ранее выполненными исследованиями [6] определены основные факторы, влияющие на степень повреждения цинковых покрытий.

Главный фактор повреждения покрытия – тепловложение в свариваемый металл, основной характеристикой которого выступает погонная энергия сварки. Важным фактором является состав металла шва, определяющий температуру его плавления, который зависит от марки используемой электродной проволоки. Эти факторы определяют термический цикл сварки, влияющий на характер процесса повреждения, ширину поврежденного участка и остаточную толщину цинкового покрытия. Степень повреждения покрытия зависит от времени пребывания металла покрытия при температурах кипения, плавления и окисления цинка. На степень повреждения покрытия влияет состав защитной атмосферы и скорость ее перемещения относительно поверхности свариваемого металла:  $V_{з.з.} \rightarrow 0$  при сварке в защитных камерах и  $V_{з.з.} \leq 6$  л/мин =  $V_{сопла}$  при сварке.

Сварку стыковых и угловых соединений оцинкованных сталей выполняют за один проход. Для этого случая Н.Н. Рыкалиным [7] разработана математическая модель нагрева пластины, в соответствии с которой выполнен анализ процессов разрушения покрытия.

Общая ширина зоны повреждения цинкового покрытия при дуговой сварке стальной проволокой в защитном газе достигает 24 мм, а при дуговой пайке проволоками из меди – 1...3 мм по двум сторонам шва. В этой зоне можно выделить три характерных участка, отличающихся по механизму повреждения (рис. 2).

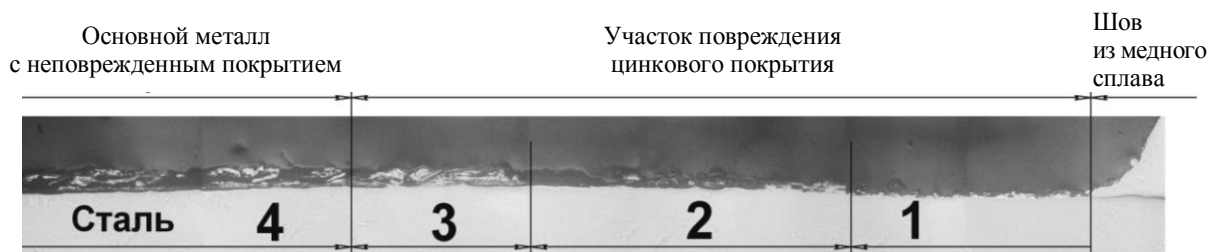


Рис. 2. Зона повреждения цинкового покрытия при дуговой сварке электродной проволокой из медного сплава CuSi3:

1 – участок кипения цинка; 2 – участок расплавления; 3 – участок окисления; 4 – неповрежденное цинковое покрытие

На участке, прилегающем к сварному шву и нагретом до температур выше температуры кипения цинка (911 °С), происходит интенсивное разрушение покрытия вследствие кипения и испарения цинка.

На участке плавления металл нагрет до температур 911...419 °С, превышающих температуру плавления цинка, и здесь возможен процесс окисления цинка при сварке открытой дугой. Интенсивность испарения цинка постепенно снижается по мере удаления от оси шва в сторону точек, нагретых до температуры плавления. Упругость диссоциации оксида цинка по сравнению с железом более низкая, что свидетельствует о более высоком сродстве цинка к кислороду. В связи с этим воздух и углекислый газ для цинка являются окислительной средой, способствующей повреждению покрытия от окисления цинка, а увеличенные скорости истечения защитного газа приводит к повреждению покрытия от испарения цинка. Пары цинка окисляются при взаимодействии с кислородом воздуха, образуя дисперсные оксиды, являющиеся вредными веществами, которые переносятся нагретым воздухом и загрязняют зону дыхания сварщика.

На участке окисления, нагретом до температур 419...200 °С, при сварке покрытыми электродами или в углекислом газе образуются слои оксида цинка невысокой плотности. Кислород из окислительной среды проникает к поверхности цинкового покрытия, которое окисляется частично, а при качественной защите зоны сварки инертным газом сохраняется. При естественном испарении цинка, когда отсутствует принудительное движение его паров, процесс испарения идет медленно, однако существенно ускоряется при обтекании расплавленного покрытия и сдувании паров цинка потоком защитного газа, т.е. при механизированной дуговой сварке может происходить увеличение скорости испарения цинка. Определение толщины слоя испаряющейся части покрытия при обдувании потоком защитного газа выполнено с использованием преобразованного уравнения Клапейрона – Менделеева [8]. Исследования показали, что изменение скорости истечения защитного газа и снижение парциального давления над расплавленным металлом вследствие сдувания защитным газом интенсифицирует процесс разрушения покрытия вследствие более быстрого его испарения. Давление паров над испаряющимся цинком зависит от промежуточного слоя покрытия, через который атомы цинка при испарении диффундируют в окружающую среду.

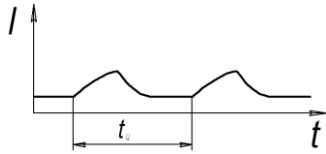
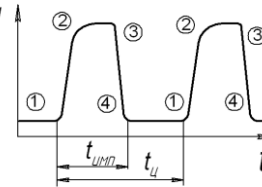
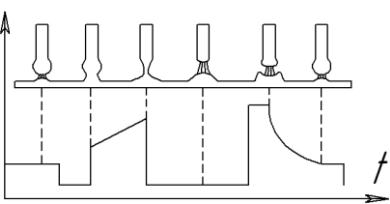
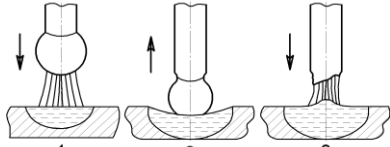
Содержание кислорода для предотвращения окисления цинка должно быть меньше величины упругости оксида цинка. Возникающий подсос воздуха в газовую струю, истекающую из сопла горелки (обычно до 5 % по объему), затрудняет выполнение этого условия при струйной защите и вполне возможно при сварке в заполненных аргоном высокой чистоты камерах. Поэтому в качестве защитной среды необходимо использовать аргон или его смеси, например, с водородом.

Снижение тепловложения в свариваемое изделие (удельной погонной энергии) ограничивается двумя факторами: снижением устойчивости горения дуги из-за коротких замыканий дугового промежутка каплями переходящего в шов металла; недопустимым снижением производительности процесса сварки при существенном ограничении силы сварочного тока. Преодолеть негативные воздействия этих факторов позволяют возможности нового сварочного оборудования [9]. Современные инверторные источники питания с цифровым управлением работают на частоте 20...100 Гц, обеспечивают устойчивое горение дуги на малых токах, легкое ее возбуждение после обрывов, что делает их пригодными для выполнения сварочных работ на металлах с защитными покрытиями [10]. Повышению производительности процесса дуговой сварки способствует принудительный отрыв капли с торца сварочной проволоки импульсом тока или замедлением скорости ее подачи вплоть до реверса. В таблице 1 приведены характеристики сва-

рочных процессов и современного оборудования с цифровым управлением механизмов подачи электродной проволоки, позволяющие осуществлять ее остановку или реверс.

Таблица 1

## Характеристики сварочных процессов и современного оборудования

Метод управления	Осциллограммы процесса и кинограммы перехода капли	Рациональная область использования	Рекомендуемое оборудование
С саморегулированием длины дуги	 <p>при среднекапельном переносе без коротких замыканий дугового промежутка</p>	Сварка изделий различного назначения	Magster 351; Powertec 300S, Lincoln Electric (США)
Импульсами тока заданной частоты без обратных связей	 <p>1 – предварительный нагрев проволоки; 2 – расплавление проволоки; 3 – отделение капель; 4 – переход капли в сварочную ванну</p>	Сварка тонколистовой стали; включая сталь с защитными покрытиями	Trans Puls Synergic 2700, Fronius (Австрия)
Цифровым регулированием импульсами тока с обратными связями		Сварка тонколистовой стали и стали с защитными покрытиями	Invertec Power Wave C300 Lincoln Electric (США)
Инерционными силами с обратными связями	 <p>1 – рост капли при нагреве током и дугой; 2 – момент приложения реверсивного ускорения; 3 – возобновление горения дуги и плавления электрода</p>	Сварка тонколистовой, оцинкованной стали, алюминиевых сплавов	Trans Puls Synergic 2700, Fronius (Австрия)

Исследования показывают, что при некотором сохранении покрытия в соединениях, выполненных дуговой сваркой, металл шва не защищен от коррозии. Участки покрытия с частично или полностью разрушенным цинковым слоем обладают пониженной коррозионной стойкостью, которая существенно зависит от ширины участка повреждения покрытия в результате высокотемпературного нагрева.

Анализ результатов исследований коррозионной стойкости оцинкованных сталей с предварительным повреждением покрытия в виде полос и определение гальванических токов, свидетельствует о том, что существует критическая ширина повреждения, при которой реализуется действие анодной защиты. Установлено, что действие анодной защиты обеспечивается, если ширина зоны повреждения покрытия не превышает 0,9...1,4 мм, и если сам шов при этом будет обладать достаточной коррозионной стойкостью, соединение не образует гальванических пар с основным металлом и покрытием.

В результате коррозионных испытаний, определения топографии и распределения электродных потенциалов на сварных и паяных соединениях оцинкованных сталей, находящихся в агрессивной влажной среде, сформулирован новый подход к обеспечению коррозионной стойкости. Суть его состоит в том, что коррозионная стойкость сварных соединений обеспечивается, если ширина зоны с разрушенным цинковым покрытием от воздействия термического цикла сварки не превышает зону анодной защиты стали цинковым покрытием  $I_{кр}$  (рис. 3). В ходе исследований этот подход подтвержден экспериментально. Установлено, что близкая к коррозионной стойкости основного металла, стойкость сварного соединения обеспечивается, если ширина зоны повреждения цинкового покрытия сваркой, меньше ширины зоны

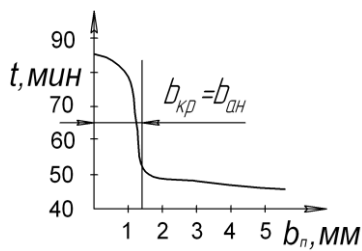


Рис. 3. Определение максимальной ширины повреждения цинкового покрытия, сохраняющей антикоррозионную защиту

анодной защиты и металла шва стоек к коррозии, а разность потенциалов между металлом шва и покрытия не превышает 0,33 В. Этим условиям не удовлетворяют швы, выполненные проволоками из низколегированной стали типа Св-08Г2С, поскольку общая ширина шва и поврежденных участков существенно больше ширины зоны протекторной защиты.

Поврежденная зона цинкового покрытия при сварке электродными материалами на основе железа состоит из нескольких участков: участков с поврежденным покрытием, расположенным вблизи шва; сварного шва; околошовной зоны, нагретой выше температуры окисления цинка, но без видимых повреждений покрытия. При использовании сварочных материалов на основе цветных металлов (Cu, Al, Zn) условием обеспечения коррозионной стойкости соединений во влажных агрессивных средах, характерных для условий эксплуатации оцинкованных элементов теплотрасс, будет:  $l_{повр} \leq l_3$ , где  $l_3$  – ширина действия анодной защиты.

Во всех случаях сварки  $l_{повр}$  определяется величиной тепловложения в изделие – погонной энергией при сварке. Протяженность участков повреждения цинкового покрытия практически линейно зависит от погонной энергии (рис. 4).

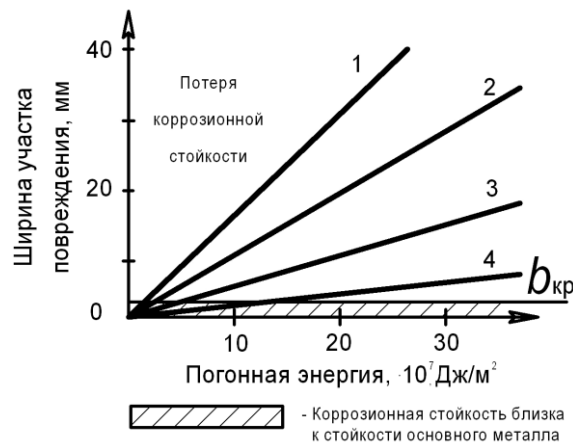


Рис. 4. Влияние погонной энергии на ширину участков повреждения покрытия при толщине металла 2 мм:  
 1 – участок окисления покрытия при сварке и пайке; 2 – участок плавления цинка при сварке и пайке;  
 3 – участок кипения цинка при сварке; 4 – участок кипения цинка при пайке

Экспериментально установлено, что наименьшей коррозионной стойкостью обладают соединения оцинкованных сталей, выполненные сварочными проволоками на основе железа (Св-08Г2С и Св-06Х19Н9Т), так как повреждение цинкового покрытия шире критической зоны действия анодной защиты. Далее по снижению коррозионной стойкости следуют соединения, выполненные электродной проволокой

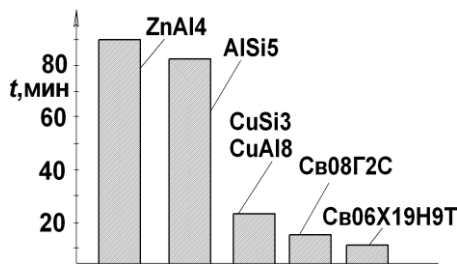


Рис. 5. Время растворения цинкового покрытия до основного металла в соединениях, выполненных проволоками разного химического состава

на основе меди (CuSi3, CuAl8), поскольку возникает гальваническая пара, и по поверхности соединения протекают гальванические токи. Наиболее стойкими оказались паяные соединения, выполненные проволоками на основе алюминия (AlSi5) и цинка (ZnAl4) (рис. 5). Это объясняется более низкой, чем у железа (1539 °С), температурой плавления рассматриваемых цветных металлов (меди – 1083 °С; алюминия – 660 °С; цинка – 419 °С) и, как следствие, более низкой погонной энергией, необходимой для образования шва, меньшим тепловложением в изделие, что снижает перегрев и степень повреждения защитного цинкового покрытия. Меньшая, чем при сварке проволоками из сплавов на основе железа, ширина повреждения

цинкового покрытия (0,5...1 мм) при пайке проволоками на основе меди компенсирует большую разность потенциалов, увеличивая коррозионную стойкость соединения.

Отсутствие повреждения покрытия, небольшая разность электродных потенциалов (0,9 В) и образование оксидной пленки на шве, выполненном электродной проволокой на основе алюминия (AlSi5), способствует сохранению антикоррозионных свойств на уровне основного металла. В таблице 2 приве-

дена сравнительная характеристика коррозионных свойств соединений из оцинкованных сталей, выполненных дуговой сваркой и пайкой.

Таблица 2

Сравнительная характеристика коррозионных свойств оцинкованных соединений деталей и узлов теплотрасс

Способ соединения	Характеристика повреждения покрытия	Коррозионные свойства соединений	Рекомендации по применению
Ручная дуговая сварка	Значительные повреждения покрытия, незащищенный шов	На уровне стали без защитного покрытия	Сварка с последующей обработкой цинкосодержащими красками
Механизированная дуговая сварка стальной проволокой	Ширина участка повреждения покрытия с 2-х сторон шва 18...22 мм	10...15 % от стойкости основного металла: ширина участка без покрытия превышает зону действия анодной защиты	Сварка ответственных изделий с покрытиями
Дуговая пайка проволокой из медных сплавов	Ширина участка повреждения покрытия с 2-х сторон шва 4...6 мм: (сохраняется 25...40 % толщины покрытия)	25...30 % от стойкости основного металла: ширина повреждения превышает зону действия анодной защиты	Соединение слабонагруженных узлов
Дуговая пайка проволокой из алюминиевых сплавов	Ширина участка повреждения покрытия с 2-х сторон шва 2...4 мм: (сохраняется 35...50 % толщины покрытия)	85...90 % от стойкости основного металла: невысокая разность электродных потенциалов металла шва и металла покрытия	Герметизация ненагруженных соединений
Пайка проволокой из цинковых сплавов	Ширина участка повреждения покрытия с 2-х сторон шва 1,5...3 мм	90...95 % от стойкости основного металла: на зону повреждения распространяется анодная защита	Герметизация соединений
Пайка оловянно-свинцовистыми припоями	Незначительные повреждения покрытия	90...95 % от стойкости основного металла: невысокая разность электродных потенциалов металла шва и металла покрытия	Пропайка фальцевых соединений, работающих при $T < 0,7T_{пл}$ припоя

Прочность соединений из оцинкованных сталей существенно зависит от типа используемого электродного материала. При использовании ручной дуговой сварки покрытыми электродами и механизированной дуговой сваркой в защитных газах шов равнопрочный с основным металлом, а при использовании проволоки на основе цветных металлов – существенно ниже. Механические свойства соединений оцинкованных сталей обеспечиваются на уровне свойств применяемого цинкового сплава, но могут быть и выше при использовании эффекта контактного упрочнения при малых зазорах в соединении. В таблице 3 представлены способы соединения оцинкованных узлов теплотрасс и прочность соединений.

Таблица 3

Способы соединения оцинкованных узлов теплотрасс и прочность соединений

Способ соединения	Электродный материал	Защитная атмосфера	Прочностные свойства стыковых соединений, $\sigma_B$
Ручная дуговая сварка	Покрытый электрод на основе железа: марок Св-08; Св-08А	CO <sub>2</sub>	Равнопрочное с основным металлом
Механизированная дуговая сварка	Проволока на основе железа: марок Св-08Г2С, Св-06Х19НТ	CO <sub>2</sub> Ar + CO <sub>2</sub>	Равнопрочное с основным металлом
Дуговая пайка	Проволока из медного сплава: марок CuSi3; CuAl8	Ar	(0,8...0,9) $\sigma_B$
Дуговая пайка	Проволока из алюминиевого сплава: марки AlSi5	Ar	(0,4...0,45) $\sigma_B$
Дуговая пайка	Припой на основе цинка: марки ZnAl4	Ar	(0,3...0,35) $\sigma_B$
Пайка	Припой оловянно-свинцовистый: марки ПОС 40	Воздух	(0,1...0,2) $\sigma_B$

Прочностные свойства шва при дуговой пайке проволоками из медных сплавов приближаются к свойствам основного металла, поскольку возможный небольшой переход цинка в шов практически не влияет на свойства металла. Соединения, выполненные материалами из алюминиевых сплавов, отличаются высокой хрупкостью. При остывании швов, содержащих железо, возможно образование трещин, причем интенсивность процесса трещинообразования возрастает с увеличением содержания железа в алюминиевом металле шва. Для получения качественного соединения необходимо использовать минимальную погонную энергию при дуговой сварке и пайке. Однако при этом снижается устойчивость горения дуги на малой силе сварочного тока и возникают трудности при ручном манипулировании и перемещении сварочной горелки на высоких скоростях сварки, что преодолевается автоматизацией и роботизацией процесса.

**Заключение.** Для минимизации воздействия сварочного нагрева на ширину и глубину повреждения цинкового покрытия необходимо ограничивать погонную энергию сварки, выбирать электродные

материалы соответственно назначению изделий, вести процесс сварки и пайки в нейтральной или восстановительной по отношению к цинку среде. Современные способы дуговой сварки и пайки оцинкованных сталей и оборудование, оснащенное управляемыми тиристорными источниками тока, обеспечивают высокую устойчивость горения дуги на малых (30...80 А) токах и управляемый перенос электродного металла. Для компенсации потерь производительности процесса сварки и повышения стабильности горения дуги необходимо цифровое управление отрывом капли с торца электродной проволоки. Использование электродных материалов из сплавов железа, меди, алюминия и цинка применительно к соединениям оцинкованных деталей и узлов теплотрасс не обеспечивает полный комплекс необходимых коррозионных и прочностных свойств, поэтому технологические процессы необходимо строить по принципу компромисса. Ограничить окисление цинка можно использованием инертной газовой защиты не только расплавленного металла, но и участков металла, нагретых свыше 200 °С. Дуговую сварку и пайку оцинкованных сталей целесообразно выполнять при рационально организованной защите зоны нагрева инертным газом, расход которого должен быть ограничен (4...5 л/мин) для обеспечения ламинарного режима истечения газа при использовании горелки с цилиндрическим соплом диаметром 18...20 мм. Требование равнопрочности соединений из тонколистовой оцинкованной стали может обеспечиваться технологией импульсно-дуговой сварки в среде  $Ar + O_2$  электродной проволокой диаметром 1,0 и 1,2 мм на умеренных режимах ( $I_{св} = 30...40$  А,  $U_d = 18...20$  В,  $V_{св} = 0,01$  м/с), а шов и поврежденные участки покрытия после сварки следует защищать цинконаполненными (90 % порошка цинка) составами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование и строительство тепловых сетей бесканальной прокладки из стальных труб с индустриальной тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке. Свод правил по проектированию и строительству: СП 41-105-2002. – М.: Гос. комитет Рос. Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу, 2003. – 164 с.
2. Тепловые сети бесканальной прокладки из стальных труб, предварительно термоизолированных пенополиуретаном в полиэтиленовой оболочке. Правила проектирования и монтажа. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2008. – 140 с.
3. Конопко, Н.А. Теплоснабжение / Н.А. Конопко. – Минск: Выш. шк., 1988. – 312 с.
4. Сафонов, А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям / А.П. Сафонов. – М.: «Энергоатомпромиздат», 1985. – 180 с.
5. О дополнительных мерах по экономному и эффективному использованию топливно-энергетических ресурсов: постановление Совета Министров Респ. Беларусь 27 декабря 2002 г. № 1820.
6. Павлюк, С.К. Закономерности процесса повреждения и разрушения цинкового покрытия на стали при сварке плавлением и дуговой пайке / С.К. Павлюк, А.В. Лупачёв, Ю.А. Цумарев // Вестн. Белорусско-Российского ун-та. – 2008. – № 2(19). – С. 76 – 84.
7. Теория сварочных процессов: учебник для вузов по спец. «Оборудование и технология сварочного производства» / под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.
8. Кох, Б.А. Основы термодинамики металлургических процессов сварки / Б.А. Кох. – Л.: Судостроение, 1975. – 240 с.
9. Бондаренко, В.Л. Инверторное оборудование с частотой преобразования более 100 кГц с и цифровым управлением / В.Л. Бондаренко // Сварщик. – 2007. – № 6(58). – С. 26 – 31.
10. Matusiak, J. Сварка и пайко-сварка материалов и элементов, чувствительных к теплоте, низкоэнергетичными методами Mig/Mag / J. Matusiak, B. Czworong, T. Pfeifer // Сварщик. – 2008. – № 4(62). – С. 29 – 31.

Поступила 30.12.2011

#### ARC WELDING AND SOLDER BENDING OF ZINC-PLATED HEAT PIPELINES UNITS AND THEIR CORROSION STABILITY

A. LUPACHEV, S. PAVLUK

*Distinctive damage areas of zinc coating on steel under arc welding and solder bending are determined. Dependences of damage area widths on parameters of process conditions are detected. The maximum width of zinc coating damage providing the work of the anode shield is determined. Corrosive and mechanical properties of welded and soldered joints zinc-coated steel in corrosion environment, performed by means of high-powered methods of arc welding and solder bending using new electrode material on the basis of iron, copper, aluminium, zinc and state-of-the-art equipment as applied to heat pipeline construction are investigated and estimated. Ways to minimizing of pavement distress without losses in productivity and approximation of corrosion stability of the junction to firmness of parent metal by means of heat-enclosure regulation and seam composition are developed.*