

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ СИЛЬФОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТАЛИ 12X18H10T

© 2020 А.А. Пармонов^{1,2}, А.А. Паркин¹, С.С. Жаткин¹

¹Самарский государственный технический университет

²АО РКЦ «Прогресс», Самара

Статья поступила в редакцию 06.06.2020

Представлены результаты исследований по влиянию режимов автоматической дуговой сварки тонколистовых заготовок из стали 12X18H10T, применяемых для производства сильфонов, на дефектность и прочность сварного шва. На основе результатов проведенных экспериментальных исследований определены оптимальные режимы сварки.

Ключевые слова: автоматическая сварка, сильфон, дефекты сварного шва, предел прочности.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-2-113-117

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в большинстве случаев при производстве сильфонов из стали 12X18H10T, применяемых в различных магистралях большинства типов ракетносителей, выполняется по штатной технологии с помощью роликовой сварки, имеющей ряд недостатков, в том числе: большая трудоемкость предварительной сборки свариваемых заготовок в специальном приспособлении; качество сварки напрямую зависит от «человеческого фактора»; использование разрушающего контроля сварных швов (изготовление контрольных образцов из штатных заготовок ведет к дополнительному расходу материала); необходимость зачистки швов от выплесков после сварки и отжига сваренных трубных заготовок для снижения жесткости сильфона.

Кроме того, после отжига требуется длительная (от 12 до 48 часов) химическая обработка для очистки сильфонов после проведения отжига.

Известны также технологии лазерной сварки сильфонов [1-2], обеспечивающие высокое качество сварного шва с минимальной зоной термического влияния и, соответственно, отсутствием деформаций и коробления сильфона. Однако, оборудование лазерной сварки характеризуется высокой стоимостью, а к участку для лазерной

сварки предъявляются повышенные требования по степени загрязнения и запыления.

Поэтому для оптимизации производственных процессов, сокращения финансовых затрат и повышения надежности изготавливаемых изделий, на предприятии РКЦ «Прогресс» предлагается проводить сварку сильфонов определенного типа с помощью аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом.

Для решения данной задачи и разработки новой технологии необходимо провести экспериментальную отработку режимов и технологии сварки, определить влияния изменения параметров режимов сварки на прочностные характеристики и надежность стыковых сварных соединений тонколистовых коррозионноустойчивых сталей при изготовлении сильфонов.

В данной работе приведены результаты исследований по влиянию режимов аргонодуговой автоматической сварки образцов из стали 12X18H10T на структуру и свойства сварного шва.

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для сварки продольных швов трубной заготовки сильфона использовался автоматизированный стенд продольной сварки с пневматическими прижимом кромок Fronius, модель FCP 1300-2/500-2. Сварочный стенд предназначен для сварки продольных швов в процессе TIG, которая имеет ряд преимуществ:



Рис. 1. Пример сильфонной конструкции

Пармонов Алексей Анатольевич, инженер отдела Главного металлурга РКЦ «Прогресс».

E-mail: nccd@mail.ru

Паркин Анатолий Алексеевич, кандидат технических наук, профессор кафедры литейных и высокоэффективных технологий, Самарский государственный технический университет (СамГТУ). E-mail: laser@samgtu.ru

Жаткин Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры литейных и высокоэффективных технологий, Самарский государственный технический университет (СамГТУ). E-mail: laser@samgtu.ru, sergejat@mail.ru

- обеспечивает чистый и точный сварной шов;
- высокое качество сварных швов из коррозионностойкой стали;
- позволяет контролировать сварочную ванну и весь процесс сварки в целом;
- в процессе сварки не образуется искр и брызг (при выдержке режимов сварки), т.к. присаочный металл подается без избытка

Свариваемый материал - 12Х18Н10Т (ГОСТ 4986-79), химический состав и процентное содержание легирующих элементов и примесей представлены в таблице 1.

Температура плавления 12Х18Н10Т стали составляет – 1420°С

Данная сталь относится к классу аустенитно-коррозионно-стойких сталей, которая обладает низкой теплопроводностью (16 – 25 Вт/м К в диапазоне температур 25 -900°С) и имеет высокие удельное сопротивление и коэффициент линейного расширения ((16.6 – 19,3) 10⁻⁶ 1/°С) что в целом может привести к перегреву сварного соединения, усилить коробление сварных соединений при сварке тонколистовых свариваемых заготовок.

Прогрев свыше 500°С может привести также к потере антикоррозийные свойств из-за возникновения межкристаллитной коррозии.

Для качественного формирования сварного шва и исключения образования прожогов были приняты следующие меры:

- изготовлена медная шина из материала М2 с отверстиями для защиты обратной стороны шва и формирующей канавкой размерами 2,0×0,2 мм;
- расстояние между прижимами уменьшено до минимально возможного значения - 3 мм (рис. 2);
- подготовка и сборка деталей осуществлялась без зазора в стыках свариваемых кромок.

Образцы. Непосредственно перед сваркой, свариваемые поверхности очищаются от загрязнений, ржавчины и поверхностной оксидной пленки, до блеска с последующим обезжириваются ацетоном, или уайт-спиритом.

Наряду с обдувом защитным газом сварочной ванны осуществляли обдув сварного шва при помощи штатного «сапожка» и поддув в шину для защиты обратной стороны сварного шва. Применяемый защитный газ – аргон. Используемый электрод - вольфрам марки ВТ-15 Ø 2,0 мм, с углом заточки 30°; диаметр сопла Ø 9,0 мм. Перед сборкой стыка свариваемые кромки протирались фторолоновой салфеткой смоченной нефрасом.

Сварка образцов выполнялась на следующих режимах:

- Ток сварки – от 45 до 90 А;
- Скорость сварки – 120 см/мин (72 м/ч);
- Расход защитного газа (аргон) – 10 л/мин;
- Расход защитного газа (аргон) на обдув – 5 л/мин;
- Расход защитного газа (аргон) на поддув – 5 л/мин;

Процесс сварки осуществлялся с применением следящей системы. Напряжение на дуге – 12,0 В.

Затем проведена сварка натуральных образцов при различных значениях скоростей - в диапазоне 40-220 см/мин с шагом 20 см/мин, при одинаковом сварочном токе 65 А.

После сварки были проведены следующие исследования и испытания:

- визуальный контроль качества сварных швов на соответствие ОСТ 1114-80;
- образцы, прошедшие визуальный осмотр с положительным результатом были подвергнуты рентгенконтролю на соответствие ОСТ 92-1114-80;
- определение предела прочности сварного шва при линейном растяжении в соответствии ИСО 4136-89. Образцы для испытаний отбирают от изготовленного сварного соединения или контрольного соединения. Образец вырезают поперек сварного соединения так, чтобы после механической обработки шов располагался посередине рабочей части (рис. 3). Форма и размеры образца и шероховатость его поверхности должны соответствовать данным приведенным в чертеже (рис. 3) и таблице 2.

Таблица 1. Химический состав 12Х18Н10Т

Химический элемент	Si, не более	Cu, не более	Mn, не более	Ni	Ti	P, не более	Cr	S, не более	Fe
%	0.8	0.30	2.0	9.0-11.0	0.6-0.8	0.035	17.0-19.0	0.020	Остальн.

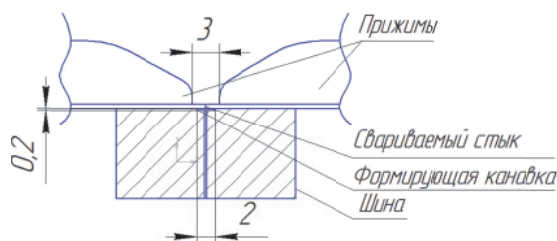


Рис. 2. Общий вид сборки стыка

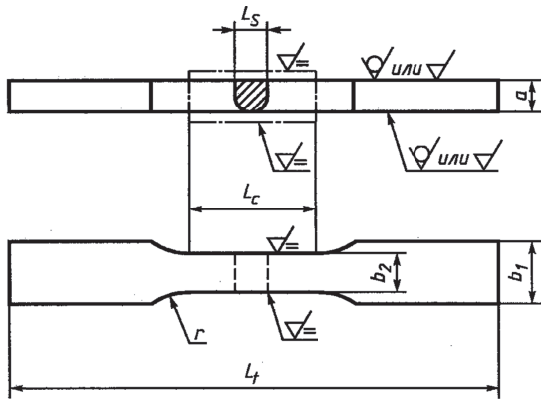


Рис. 3. Форма образца для испытаний на прочность сварного шва

Таблица 2. Размеры образца для испытаний на прочность сварного шва

Общая длина L_1	Размер устанавливается в зависимости от конструкции испытательной машины
Ширина захватной части пластины b_1	25мм
Длина рабочей части L_c	Не менее L_s+60 мм
Радиус у захватной части r	Не менее 35мм

Для определения предела прочности сварных соединений образцов, имеющих положительные результаты рентгенконтроля, дополнительно были изготовлены по 2 контрольных образца по каждому режиму сварки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

В соответствии с ОСТ 1114-80 при визуальном осмотре к сварному стыковому соединению предъявляются следующие требования:

- а) вогнутость сварного шва не должна превышать 15%;
- б) отсутствие непровара;
- в) допускаются на каждые 100 мм сварного шва:
 - единичные поры, вольфрамовые и неме-

таллические включения, если суммарное количество пор и включений не более 15шт

- размеры пор и включений в цепочке должны быть не более $0,25S$ (S – толщина свариваемой детали)

- минимальное допустимое расстояние между единичными порами и включениями $3d$ (d -средний диаметр соседних пор)

- г) цвета побежалости (до синего включительно) на лицевой и обратной стороне сварного соединения и в зоне термического влияния браковочным признаком не являются

- д) допускаются в зоне термического влияния местные вздутия и волнистость, подъем и

опускание кромок обеих деталей

- е) трещины, незаделанные кратеры, свищи, подплавления в зоне термического влияния, а также прожоги не допускаются

Результаты визуального контроля сварных швов представлены в таблице 3.

Из таблицы видно, что в диапазоне погонных энергий сварки $(2,9, 4,7) \times 10^4$ Дж/м непроваров и прожогов сварного шва не наблюдается. При этом трещины, незаделанные кратеры, свищи, подплавления в зоне термического влияния также не были обнаружены.

Рентген контроль образцов сварных швов

Используя рентгеновский контроль, удаётся с высокой степенью точности выявить: плохо проваренные места соединительных швов; тре-

Таблица 3. Результаты визуального контроля сварных швов

№ образца	I(A)/ V(см/мин)	P/V (Дж/м)	Результат	№ образца	I(A)/ V _{св} (см/мин)	P/V _{св} (Дж/м)	Результат
1	45/120	$2,7 \cdot 10^4$	непровар	11	65/40	$11,7 \cdot 10^4$	прожог
2	50/120	$3,0 \cdot 10^4$	положительный	12	65/60	$7,8 \cdot 10^4$	прожог
3	55/120	$3,3 \cdot 10^4$	положительный	13	65/80	$5,9 \cdot 10^4$	положительный
4	60/120	$3,6 \cdot 10^4$	положительный	14	65/100	$4,7 \cdot 10^4$	положительный
5	65/120	$3,9 \cdot 10^4$	положительный	15	65/120	$3,9 \cdot 10^4$	положительный
6	70/120	$4,2 \cdot 10^4$	положительный	16	65/140	$3,3 \cdot 10^4$	положительный
7	75/120	$4,5 \cdot 10^4$	положительный	17	65/160	$2,9 \cdot 10^4$	положительный
8	80/120	$4,8 \cdot 10^4$	прожог	18	65/180	$2,6 \cdot 10^4$	непровар
9	85/120	$5,1 \cdot 10^4$	прожог	19	65/200	$2,3 \cdot 10^4$	непровар
10	90/120	$5,4 \cdot 10^4$	прожог	20	65/220	$2,1 \cdot 10^4$	непровар

Примечание: Отношение $P/v_{св}$ – погонная энергия

Таблица 4. Результаты рентгеновского контроля сваренных образцов

№ образца	Сила тока, I (А)	Скорость, V (см/мин)	Погонная энергия P/V, (Дж/м)	Результаты испытания на разрыв, $\delta_{вр}$, кгс/мм ²			
				№1	№2	№3	Среднее значение
3	55	120	$3,3 \cdot 10^4$	51	50	53	51
4	60	120	$3,6 \cdot 10^4$	56	60	57	58
5	65	120	$3,9 \cdot 10^4$	63	62	60	62
6	70	120	$4,2 \cdot 10^4$	59	60	56	58
7	75	120	$4,5 \cdot 10^4$	56	53	55	55
13	65	80	$5,9 \cdot 10^4$	55	57	58	57
14	65	100	$4,7 \cdot 10^4$	59	60	59	59
15	65	120	$3,9 \cdot 10^4$	61	60	60	60
16	65	140	$3,3 \cdot 10^4$	57	55	56	56

щины и каверны, находящиеся под поверхностью детали и не обнаруживаемые визуально и другими методами дефектоскопии. Результаты рентгенконтроля образцов, прошедших визуальный осмотр, приведены в таблице 4).

Как видно из таблицы 4 только 9 из 20 сварных образцов дали положительный результат. При этом положительные результаты получены практически для тех же режимов сварки, для которых погонная энергия лежит в указанном выше диапазоне.

Испытания на прочность сварного шва.

При испытаниях образец нагружался постепенно и непрерывно в направлении, перпендикулярном к оси сварного шва вплоть до разрушения.

Предел прочности (временное сопротивление) s_b стыковых соединений с полным проваром должно быть не менее $0,9s_{b\text{осн}}$ основного материала. Для марки стали 12X18H10T $s_{b\text{осн}} = 549 \text{ Н/мм}^2$ (56 кгс/мм²).

Результаты испытаний на определение предела прочности приведены в таблице 5.

Из таблицы 5 видно, что только в трех режимах сварки предел прочности сварного шва не превосходит допустимой для данной стали величины (см. выше). Однако лучшие результаты по испытаниям на прочность показали сварные швы, полученные при токе дуги 65 А и скорости сварки 100 и 120 см/мин (образцы №5, 14 и 15, табл. 5). При этом наибольший предел прочности показал образец №5.

При исследовании установлены следующие габариты сварных швов: ширина швов – 2,2-2,8 мм; усиление и проплав отсутствует, занижения нет.

Внешний вид сварного шва представлен на рис. 4.

ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Предварительные эксперименты показали, что использование автоматической аргодуговой сварки заготовок из стали 12X18H10T является перспективным для разработки технологии сварки сильфонов и замены традиционной роликовой сварки на предлагаемую.

Таблица 5. Результаты испытаний на определение предела прочности

№ образца	Результат	№ образца	Результат
1		11	
2	непровар	12	
3	<i>положительный</i>	13	<i>положительный</i>
4	<i>положительный</i>	14	<i>положительный</i>
5	<i>положительный</i>	15	<i>положительный</i>
6	<i>положительный</i>	16	<i>положительный</i>
7	<i>положительный</i>	17	непровар
8		18	
9		19	
10		20	

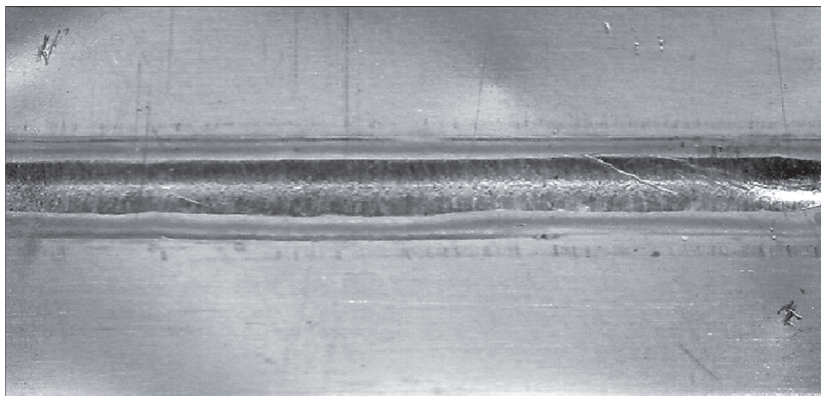


Рис. 4. Внешний вид сварного шва. Увеличение $\times 2$

По результатам исследований дефектности сварных швов, полученных автоматической аргодуговой сваркой в диапазоне токов дуги 45-90 А и скорости сварки 40-220 см/мин, установлено, что допустимыми являются режимы сварки, при которых обеспечивается погонная энергия в диапазоне $(2,9, 4,7) \times 10^4$ Дж/м. При этом формируются сварные швы с минимальным допустимым количеством дефектов, а непровары и прожоги отсутствуют.

Результаты испытаний на прочность сварных швов показали, что из допустимых режимов наиболее оптимальными являются режимы сварки с током дуги 65 А и скоростью 100-120 см/мин, при которых обеспечивается наиболее высокий предел прочности сварного шва 60-63 кгс/мм².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов В.А. Оптимизация процесса импульсной лазерной сварки тонкостенных изделий из аустенитных сталей. /Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. 2004. Научная библиотека диссертаций и авторефератов. URL: <http://www.dissercat.com/content/optimizatsiya-protsesta-impulsnoi-lazernoi-svarki-tonkostennykh-izdelii-iz-austenitnykh-stal#ixzz4xiA54pdH> (дата обращения 4.03.2020).
2. Мелюков В.В., Чирков А.М., Орехов А.В. Технологии импульсной лазерной сварки // Сварка и диагностика. 2009. № 4. С. 37-42.
3. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. /Г. А. Николаев и др. М.: Машиностроение, 1978. Т. 2 / Под ред. Н. А. Ольшанского. 504 с.

OPTIMIZATION OF THE MODES OF AUTOMATIC WELDING BELLOWS-SEALED DESIGNS FROM STEEL 12X18H10T

© 2020 A.A. Paramonov¹, A.A. Parkin¹, S.S Zhatkin¹

¹ Samara State Technical University

² JSC SRC "Progress", Samara

Results of researches on influence of the modes of automatic arc welding of the thin-sheet preparations from steel 12X18H10T applied to production of bellow valves on deficiency and durability of a weld joint are presented. On the basis of results of the conducted pilot studies the optimum modes of welding are defined. *Keywords:* automatic welding, bellow valve, defects of a weld joint, strength.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-2-113-117

Alexey Paramonov, Engineer of the Department of the Chief Metallurgist of JSC SRC «Progress».

E-mail: nccd@mail.ru

Anatoly Parkin, Doctor of Technics, Professor of the Faculty of Engineering, Metallurgy and Transport, Samara State Technical University (SamSTU). E-mail: laser@samgtu.ru

Sergey Zhatkin, Candidate of Technics, Associate Professor at the Department of Founding and High-Performance Processes, Samara State Technical University (SamSTU).

E-mail: laser@samgtu.ru, sergejat@mail.ru