ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ 09X18H10T ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ АРГОННО – ДУГОВОЙ СВАРКЕ И ПОДВАРКАХ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК

В. А. Ким¹, А. В. Аксенов²

¹ Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, ² Комсомольский-на-Амуре строительный колледж, г. Комсомольск-на-Амуре, Россия

Структура сварного шва тонкостенных труб характеризуется повышенной неоднородностью и плотностью концентраторов напряжений, вызванных динамикой развития температурного поля по замкнутой цилиндрической поверхности. С изменением теплового потока в сторону, его уменьшения от одного сегмента сварного шва к другому, повышается структурная стабильность. Количественное описание структурного интерфейса позволяет более объективно оценить степень неоднородности исследуемой структуры металла шва и околошовной зоны.

Ключевые слова: интерфейс структуры, глобальная фрактальная размерность, сварной шов, зона термического влияния

IMPROVEMENT OF QUALITY OF STRUCTURE HROMONIKELEVOJ OF THE STEEL 09H18N10T AT AUTOMATIC ARC WELDING AND COMPLETION THIN-WALLED COVERS

V. A Kim¹, A. V. Aksenov² ¹ Komsomolsk-on-Amur state technical university, ² Komsomolsk-on-Amur building college, Komsomolsk-on-Amur, Russia

The structure of a weld of thin-walled tubes is characterized by heightened heterogeneity and tightness of concentrators of the voltages called by dynamics of development of the temperature field on the closed cylindrical surface. With change of a thermal flow towards its reduction from one segment of a weld to another, structural stability raises. The quantitative exposition of the structural interface allows to evaluate more objectively degree of heterogeneity of examined structure of metal of a weld and about a weld zones.

Ключевые слова: structure interface, global fractal dimension, weld zone, zone of thermal influence

Введение

В авиастроении широко распространены соединения различных коммуникационных элементов тонкостенных оболочек межу собой. При их сварке неизбежны случаи образования дефектов в сварных швах, которые можно исправлять подваркой. Эта операция является вспомогательной, её влияние на свойства сварных соединений изучено недостаточно.

Обеспечить стабильность свойств сварного шва по всей его длине сложно, так как температурное поле не достигает квазистационарного состояния в течение всего

Ползуновский альманах № 2 2015

процесса сварки, а сварные соединения должны удовлетворять жёстким требованиям по механическим, микроструктурным и геометрическим характеристикам. Выполнение этих требований зачастую затруднено из-за повышенной вероятности появления дефектов, связанных с динамикой температурных полей в деталях при кольцевом движении источника тепла. Стеснённые условия теплопереноса в сочетании с неустановившимся характером температурного поля приводит к резкому расширению шва, увеличению зоны термического влияния и перегреву металла [1, 2, 3]. Поэтому актуальными являются исследования направленные на обеспечение более высокой надёжности и качества кольцевых сварных соединений.

В статье анализируется структурная неоднородность сварных соединений, полученных с использованием автоматической аргонодуговой сварки и подварки тонкостенных труб из хромоникелевой стали 12Х18Н10Т. При анализе таких структур использовались количественные показатели интерфейса структурного состояния, определенные методом компьютерной металлографии и учитывающие особенность строения материалов.

Методика проведения исследований

Объектом исследований являлись сварные швы и зона термического влияния при сварке и подварках трубчатых образцов из хромоникелевой стали 12Х18Н10Т диаметром от 28 до 90 мм, толщины стенок которых составляли от 0,6 до 1,0 мм. Химический состав используемых материалов приведен в таблице 1.

Процесс осуществлялся на оборудовании Orbimat 300 AC/DC с предварительным подогревом образцов до 100...150 ⁰C на режимах, при которых сила тока менялась ступенчато с переходом от одного сегмента сварного шва к другому, а число основных сегментов в зависимости от диаметра трубы принималось от 1 до 3. В таблице 2 представлены значения сварочного тока при разбивке кольцевых швов на 3 основных сегмента и 1 дополнительный, при этом подача сварочной проволоки, а также скорость сварки оставались постоянными, напряжение соответствовало 10 – 11 В, скорость перемещения электрода 100 мм/мин.

|--|

Материал	С	Mn	Cr	Ni	Ti	Si	S	Р
12X18H10T	≤0,12	2,0	17,0 – 19,0	9,0 – 11,0	(C - 0,02) × 5 - 0,70	≤0,8	≤0,020	≤0,035

Таблица 2 – Ток сварки при разбивке сварного шва на сегменты, в амперах, при толщинах стенок труб 0,6 мм / 0,8 мм / 1,0 мм

Диаметр	Угловые значения сегментов					
трубы,	1 сегмент 2 сегмент 3 сегме		3 сегмент	дополнительный		
ММ	$0^{0} - 120^{0}$	$120^{0} - 240^{0}$	$240^{0} - 360^{0}$	сегмент		
28	19/25/31	18/24/30	16/22/28	15/21/27		
38	21/27/33	20/26/32	18/24/30	17/23/29		
40	23/29/35	22/28/24	20/26/32	19/25/31		
42	25/31/37	24/30/36	22/28/34	21/27/33		
80	27/33/39	26/32/38	24/30/36	23/29/35		
90	28/34/40	27/33/39	25/31/37	24/30/36		

Анализируемая область включала сварной шов и прилегающую зону термического влияния при сварке и трёх подварках, которые разбивались на 10 – 12 участков. Ширина каждого участка равнялась габариту поверхности шлифа, охватываемого объективом микроскопа, и составляла 270...280 мкм. Нумерация участков начиналась от центра сварного шва, и далее шла в порядке возрастания по направлению к исходной структуре. Для стабилизации структуры в сварном шве и околошовной зоне, силу сварочного тока на каждом из сегментов кольцевых швов регулировали согласно зависимости (1). При первой подварке значения токов на каждом из сегментов увеличивали на 5 %, при второй – на 8 %, при третьей – на 10 %.

 $I_1 > 3 \% I_2 > 6.5 \% I_3 > 3.5 \% I_4$, (1) где $I_1 - I_4$ ток на каждой ступени регулирования.

Микроструктура при кратности увеличения x400 фиксировалась с помощью металлографического микроскопа «Микро-200» и в оцифрованном виде обрабатывалась с помощью программы Image.Pro.Plus.5.1.

В качестве меры для расчета фрактальной размерности было принято количество микроструктурных объектов, имеющих определенную площадь в плоскости шлифа в диапазоне от 4,0 мкм² до 0,008 мкм² [4, 5, 6]. Интерфейс структурного состояния оценивался по глобальной фрактальной размерности (D), численное значение которой вычисляли по формуле (2).

$$D = \frac{\Delta(\ln \Sigma N)_i}{\Delta \ln\left(\frac{1}{S_{max}}\right)_i}$$
(2)

где N_i – количество точечных микроструктурных объектов i-го диапазона; S_{max} – наибольшая площадь точечного объекта i-го диапазона.

Полученные результаты и их анализ

Не смотря на то, что свариваемые изделия и присадочная проволока выполнены из подобного материала, химический состав шва отличается из-за дугового переноса и незначительного растворения вольфрамового электрода в сварочной ванне. Вольфрам, как тугоплавкий металл, играет активную роль в образовании центров кристаллизации.

На рисунке 1 представлены некоторые микроструктуры, соответствующие разным зонам сварного шва и прилегающих к нему областей. Микроструктура (а) характеризует центр сварного шва, а (3) - зону вдали от сварного шва или структуру свариваемой трубы, не подверженную термическим изменениям. Микроструктуры (д) и (е) представляют переходную зону сопряжения расплавленного металла сварочной ванны с твердофазной структурой исходного материала свариваемой трубы. Исходная микроструктура свариваемой заготовки характеризуется мелким зерном и полосчатостью, образованных в результате прокатки трубы. и небольшой степенью ликвации по границам.

Середина сварного шва формируется под действием симметричных тепловых потоков, направленных от центра к периферии в сторону холодной заготовки. В этой части сварного шва наблюдается самая высокая температура, большая скорость охлаждения и низкий градиент температуры, в результате чего развивается однородная неравновесная твердофазная структура, в которой первоначально большинство примесей и легирующих компонентов находились в растворенном состоянии. Развитие твердой фазы начинается с выделения тугоплавких элементов вокруг

нерастворимых примесей, но учитывая их малую концентрацию количество центров кристаллизации незначительно, в результате чего формируются относительно крупные зерна. По мере удаления от центра сварного шва скорость охлаждения снижается, но продолжает оставаться высокой. поэтому формирующаяся структура остается неравновесной (рисунок 1б). Влияние градиента температур проявляется в образовании зерен вытянутой формы. При приближении к зоне сопряжения расплавленного металла с твердофазной структурой заготовки, ориентация зерен становится более упорядоченной, а сами зерна более вытянутой формы. Развитие такой ориентации структуры указывает, что в этой области наблюдается максимальный градиент температуры. В общем случае микроструктура сварного шва в центральной части и прилегающих к ней зон носит характер аналогичный для литейных процессов. В зоне сопряжения жидкофазной ванны расплава с твердофазным исходным материалом заготовки происходят структурные превращения характерные только для сварочного процесса.

Характер структурных процессов в зоне термического влияния осуществляется под действием теплового источника от расплавленной сварочной ванны, начинающего функционировать с началом наложения сварного шва и продолжающегося в течение всего периода остывания (рисунок 1ж). В области высоких температур происходит частичное оплавление кристаллитов, в результате чего образуются участки межзеренных границ относительно большой ширины, при этом у самих зерен острые углы приобретают сглаженную форму. Высокая плотность теплового потока вызывает наведение градиентов температур и соответствующих им термических напряжений. В случае превышения их предела текучести может происходить термопластическая деформация и генерация различных дефектов кристаллического строения, которые на интерфейсе структурного состояния проявляются как точечные микроструктурные объекты. Дальнейшие структурные изменения в зависимости от плотности теплового потока и теплофизических свойств материала могут протекать по алгоритмам отжига, отпуска или старения.

Распределение глобальной фрактальной размерности по ширине кольцевого сварного шва при движении от начальной до конечной точки значительно изменяется в зависимости от количества сегментов и варьирования силы сварочного тока (рисунок 2).



Рисунок 1 – Микроструктура сварного шва (х400)

Ползуновский альманах № 2 2015

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ 09X18H10T ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ АРГОННО – ДУГОВОЙ СВАРКЕ И ПОДВАРКАХ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК

На рисунке 3 представлено распределение глобальной фрактальной размерности по ширине сварного шва при сварке и трёх подварках. Численное значение фрактальной размерности меньше единицы, указывает, что исследуемое геометрическое множество состоит из разделенных в пространстве объектов. Распределение носит экстремальный характер. Максимум располагается в диапазоне между 5-ой и 7-ой точками, который также приходится на переходную область между жидкофазной и твердофазной областью сварного шва.



Рисунок 2 – Распределение глобальной фрактальной размерности по ширине сварного шва (а – 15°, б – 120°, в – 240°, г – 345°)



Рисунок 3 – Распределение глобальной фрактальной размерности по ширине сварного шва (а – сварка, б – 1 подварка, в – 2 подварка, г – 3 подварка)

Ползуновский альманах № 2 2015

В. А. КИМ, А. В. АКСЕНОВ

	Угловая координата точки замера						
Режим сварки	10 ⁰	120 ⁰	240 ⁰	360 [°]			
	<u>520-525</u>	<u>505-515</u>	490-505	460-480			
при неизменном токе	522,5	510	497,5	470			
	520-525	<u>510-515</u>	495-510	485-505			
2-х ступенчатое регулирование	522,5	512,5	502,5	495			
	<u>520-525</u>	<u>520-522</u>	<u>520-522</u>	<u>518-524</u>			
з-х ступенчатое регулирование	522,5	521	521	521			
	<u>520-525</u>	<u>522</u>	<u>520-522</u>	<u>518-524</u>			
4-х ступенчатое регулирование	522,5	522	521	521			
1 подварка							
	495-510	<u>500-510</u>	495-510	490-510			
з-х ступенчатое регулирование	502,5	505	502,5	500			
	495-510	<u>500-510</u>	<u>500-510</u>	<u>495-510</u>			
4-х ступенчатое регулирование	502,5	505	505	502,5			
<u>2 подварка</u>							
	470-480	470-485	470-480	470-475			
з-х ступенчатое регулирование	475	477,5	475	472,5			
	470-485	475	470-480	470-480			
4-х ступенчатое регулирование	477,5	475	475	475			
<u>З подварка</u>							
	450-465	455-465	450-455	450-460			
з-х ступенчатое регулирование	457,5	460	452,5	455			
	450-465	450-465	450-460	450-455			
4-х ступенчатое регулирование	457,5	457,5	455	452,5			

Таблица 3 – Предел прочности ($\sigma_{\scriptscriptstyle BP}$, МПа) сварного шва из хромоникелевой стали 12Х18Н10Т

Таблица 4 – Угол загиба сварного шва из хромоникелевой стали 12Х18Н10Т

	Угловая координата точки замера							
Режим сварки	10 ⁰	120 ⁰	240 ⁰	360 ⁰				
	<u>180</u>	<u>180</u>	<u>180</u>	<u>180</u>				
при неизменном токе	180	180	180	180				
	<u>180</u>	<u>180</u>	<u>180</u>	<u>180</u>				
2-х ступенчатое регулирование	180	180	180	180				
	<u>180</u>	<u>180</u>	<u>180</u>	<u>180</u>				
5-х ступенчатое регулирование	180	180	180	180				
	<u>180</u>	<u>180</u>	<u>180</u>	<u>180</u>				
4-х ступенчатое регулирование	180	180	180	180				
1 подварка								
	<u>180</u>	<u>180</u>	<u>180</u>	<u>180</u>				
5-х ступенчатое регулирование	180	180	180	180				
	<u>180</u>	<u>180</u>	<u>180</u>	<u>180</u>				
4-х ступенчатое регулирование	180	180	180	180				
2 подварка								
	<u>180</u>	180	<u>180</u>	<u>175 – 180</u>				
з-х ступенчатое регулирование	180	180	180	177,5				
	<u>180</u>	<u>180</u>	180	<u> 175 – 180</u>				
4-х ступенчатое регулирование	180	180	180	177,5				
3 подварка								
	<u>175 – 180</u>	<u> 175 – 180</u>	<u>175</u>	<u>175</u>				
з-х ступенчатое регулирование	177,5	177,5	175	175				
	<u>180</u>	<u>175 – 180</u>	<u>175</u>	<u>175</u>				
4-х ступенчатое регулирование	180	177,5	175	175				

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ 09X18H10T ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ АРГОННО – ДУГОВОЙ СВАРКЕ И ПОДВАРКАХ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК

Повышенное значение глобальной фрактальной размерности обеспечивается меньшим диапазоном рассеивания точечных микроструктурных объектов по размерам и большим диапазоном рассеивания их по концентрации.

С другой стороны повышенные значения глобальной фрактальной размерности констатируют, что точечные микроструктурные объекты располагаются упорядоченно, и эта упорядоченность сохраняется на разных масштабных уровнях.

Исследование свойств тонкостенных труб из хромоникелевых нержавеющих сталей 12Х18Н10Т с использованием такого параметра как глобальная фрактальная размерность показывает, что при многократных подварках этот материал можно подваривать 3 раза и значительных изменений структурных и механических характеристик не наблюдается. Увеличение количества подварок до 5-ти не должно привести к значительному снижению предела прочности и пластичности при режимах тока, согласно зависимости (1) (который будет составлять не менее 60 % прочности основного материала). Это можно наблюдать по рисунку 3, таблицам 3 и 4.

Анализ представленных результатов показывает, что посредством управления тепловложением за счёт регулирования шага и величины токового диапазона, согласно зависимости (1) можно активно влиять на структурную и механическую стабильность сварного шва.

Список литературы

1. Рыкалин, Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М: Машгиз, 1951. - 296 с.

2. Сварка в СССР. Теоретические основы сварки прочности и проектирования. Сварочное производство / Г.И Лесков, Б.И Махненко, А.А. Ерохин - М.: Наука, 1981. - Т.2. - 493 с.

3. Абрамов, Е.В. Автоматическая сварка тонкостенных труб малого диаметра из стали и титана / Е.В. Абрамов, В.И. Лященко, В.А. Семенов // Л.: ДБНТП, 1975. - 28 с.

4. Ким, В.А. Зеренная структура и твердость титанового сплава ВТ20 после электроннолучевой сварки / В.А. Ким, В.И. Муравьев, А.А. Шпилева // Металловедение и термическая обработка металлов. - № 4(634). - 2008. - С. 40-43.

5. Маравьёв В. Ѝ,, Ќим В. А., Аксенов А. В. Автоматическая аргоно – дуговая сварка труб из алюминиевого сплава АМгЗМ // Заготовительное производство. № 9. 2010. С. 26 – 29.

6. Ким, В.А. Количественная оценка структурной неоднородности сварного шва при автоматической аргоно – дуговой сварке тонкостенных труб из алюминиевого сплава АМгЗМ / В.А. Ким, А.В. Аксенов // Заготовительное производство - № 7. -2013. - С. 64-68.

Ким Владимир Алексеевич¹ – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение и технологии новых материалов» Аксенов Александр Владимирович² – преподаватель

- ¹ Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,
- ² Комсомольский-на-Амуре строительный колледж, г. Комсомольск-на-Амуре, Россия