

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ СВАРКИ НА ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ

Щепетков Алексей Владимирович, студент гр. ТСм-191, II курс

Научный руководитель: Абабков Н. В., к.т.н., доцент

«Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

Введение

В настоящее время все большую популярность набирает риск-ориентированный подход к оценке состояния сварных металлоконструкций, в том числе с дефектами. Так оценивается возможность эксплуатации той или иной конструкции с дефектами и возможные последствия от ее разрушения. Однако отсутствуют четкие методики или зависимости по влиянию размера того или иного дефекта на способность конструкции выполнять свои функции.

Таким образом целью работы является повышение эффективности оценки состояния ресурса и мест предразрушения сварных металлоконструкций с помощью теплового контроля путем определения зависимостей параметров и характеристик разрушающего и неразрушающего контроля.

Стандартные методы НК выявляют уже существующие дефекты в сварных соединениях – макродефекты. Однако широко применяемые методы НК имеют ряд существенных недостатков. Неразрушающие физические методы исследований в задачах оценки и прогнозирования работоспособности сварных соединений металлоконструкций ориентированы, главным образом, на выявление уже существующих и развивающихся очагов разрушения. Проблема усугубляется отсутствием научно обоснованной концепции надежного прогнозирования работоспособности длительно работающего металла. [1]

При проведении патентного анализа выявлено, что в настоящее время данный подход никем не разрабатывается, а существующие методы и подходы обладают недостатками, среди которых можно выделить сложность использования и дороговизну аппаратуры. [2]

Образцы для экспериментальных исследований

Вторым этапом, после проведения патентного поиска, были подготовлены контрольные сварные соединения с дефектами из листов стали 09Г2С ГОСТ 19281-2014, размерами 12,0+12,0 (КСС №1) (рис. 1) и 6,0+6,0 (КСС №2), выполненные с помощью ручной дуговой сварки, стыковым соединением в

нижнем положении покрытыми электродами марки УОНИ 13/55 ГОСТ 9466-75.



Рис. 1 КСС №1 с дефектами для разрушающего и теплового контроля

Для КСС №1 сварка проводилась в 2 слоя, между слоями специально не удалялись остатки шлака, также были заложены искусственным способом следующие дефекты: прожоги, поры, подрезы, не провары и пр. КСС №2 был сварен за 1 проход, в него также были искусственно заложены дефекты.

Оборудование

Разрывная машина РМ-50М

Машины типа РМ-М предназначены для испытаний образцов сварных соединений на растяжение и изгиб по ГОСТ 6996. Машины этого типа представляют собой испытательные установки, состоящие из двухколонного (двухцилиндрового) нагружающего устройства и насосной станции, оснащены модернизированными захватами с гидравлическим зажимом образцов, современной цифровой системой измерений ASTM-Digital "Стандартная", обеспечивающей индикацию прилагаемой силы и скорости нагружения образцов, а также фиксацию максимального значения нагрузки. Программное обеспечение позволяет проводить регистрацию диаграммы "Нагрузка-Время", а также сохранение результатов испытаний сварных соединений на сжатие и изгиб в память ЭВМ.

Таблица 1. Технические характеристики РМ-50М

Наибольшая ном. нагрузка при испытании на растяжение	500 кН
Цена единицы наименьшего разряда силоизмерителя	0,01 кН
Пределы доп. погрешности <u>измер.</u> нагрузки в диапазоне 0,02...1 <u>F_{max}</u>	±1%
Рабочий ход активного захвата	Не менее 150 cc
Высота рабочего пространства, включая ход активного захвата	Не менее 270 мм
Диапазон скоростей нагружения	0,5 ... 50 кН/сек.
Пределы допускаемой погрешности поддержания скорости нагружения	±20% от измеряемой величины
Типы испытываемых образцов по ГОСТ 6996	XII, XIII, XV, XXVI, XXVII, XXVIII
Размеры испытываемых образцов (толщина x ширина)	[2 ... 25] x 40 мм

Тепловизора Flir E60

Тепловизор Flir E60 разработка компании Flir 2011 года, имеет большую матрицу 320x240 точек и множество функций. Термограф обладает чувствительностью 0.05°C.

Таблица 2. Технические характеристики Flir E60

Диапазон измерений температуры	от -20°C до +650°C
Детектор	Неохлаждаемая <u>микроболометрическая</u> матрица 320x240 элементов
Порог температурной чувствительности	менее 0.05°C при 30°C
Погрешность измерения температуры	±2°C, но не менее ±2%
Спектральный диапазон	7.5-13 мкм
Частота развертки изображения, кадров/с	9 или 60 Гц
Функции отображения	6 палитр, 3 измерительные точки и области. Разница температур. Поиск максимальной и минимальной температуры. Визуальная температурная сигнализация.
Регулируемая <u>излучательная</u> способность	от 0,01 до 1,00 (с шагом 0,01)

Методика эксперимента

Подготовка контрольных сварных соединений:

Подготовили 2 пластины из стали 09Г2С по ГОСТ 19281-2014 толщиной 6,0 мм для контрольного сварного соединения. В сварное соединение при сварке искусственным образом заложили следующие дефекты: прожоги, поры, подрезы, не провары и пр. После сварки провели ВИК, по ГОСТ 5264-80. Следующим этапом были вырезаны образцы продольной формой по ГОСТ 6996-66, тип XII в количестве 20 штук, зафиксировали их толщину и ширину, рассчитали площади поперечного сечения. После вырезки образцов были обнаружены внутренние дефекты, а именно: поры, шлаковые включения, непровары и прочее (рис. 2).



Рис. 2 Образцы из стали 09Г2С, толщиной 6,0 мм

Настройка оборудования:

Были подготовлены и настроены разрывная машина РМ-50М, фиксирующий компьютер, навели тепловизор Flir E60 и на рабочую зону и зафиксировали его. (рис. 3)

Порядок проведения эксперимента:

Установили в разрывную машину РМ-50М образец, так чтобы сварной шов находился на равном расстоянии от захватов, зафиксировали в клиновых зажимах. Включили запись измерений на компьютере в программе регистрации данных «Регистратор СИ-02», на тепловизоре и запустили процесс растяжения на испытательной машине. По окончании испытания отключили разрывную машину, остановили запись на тепловизоре и компьютере. Зафиксировали результаты испытаний. Данную процедуру повторили для всех остальных образцов.



Рис. 3 Процесс эксперимента (1 – исследуемый образец, 2 – разрывная машина РМ-50М, 3 – тепловизор Flir E60)

Результаты исследования

По КСС №1 проводился рентгенографический контроль сварного соединения (рис. 4) с помощью импульсного рентгеновского аппарата «АРИНА-02», снимок фиксировался на рентгеновской пленке «Agfa Structurix D7». При расшифровке результатов были выявлены следующие дефекты:

- Непровар корня шва. Недостаточно проваренный сварной шов в 3 местах длиной 18 мм, 49 мм и 37 мм.
- Группа (цепочки) пор. Локальное скопление шарообразных газовых включений. Скопление круглых и овальных точек, распределенных не регулярно. Группа (цепочки) пор с расстоянием между ними не более их максимальной ширины или диаметров.

- Шлаковые включения. Наличие неметаллических неоднородностей в теле сварного шва. Темные пятна неопределенной формы. Одно шлаковое включение длиной 3 мм и шириной 4 мм, одно шлаковое включение длиной 2 мм и шириной 3 мм.

- Свищ сварного шва. Воронкообразное углубление в шве. Локализованное темное пятно с неровными краями в центре сварного шва длиной 5 мм, шириной 7 мм и глубиной 6 мм.

- Подрез наружный. Верхний подрез на границе между основной и привариваемой частями. Неравномерные, темные линии вдоль кромки шва длиной 70 мм и 80 мм

- Выпуклость корня сварного шва. Избыток электродного металла в корне шва. Область с меньшей плотностью почернения вдоль центра сварного шва и отдельные светлые пятна круглой формы. Выпуклость корня шва длиной 41 мм и 20 мм. [3,4]

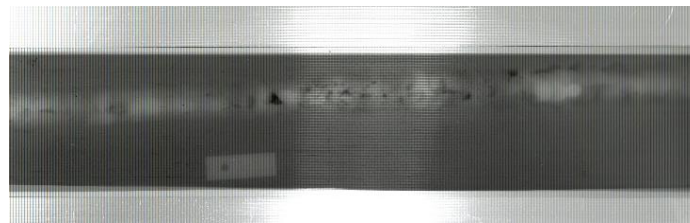


Рис. 4 Рентгеновский снимок сварного соединения с дефектами (КСС №1)

Таблица 3. Результаты испытаний образцов из стали 09Г2С, толщиной 6 мм

№ образца	Размер сечения			Макс. нагрузка, кН	Врем. сопр., МПа	Место разрыва	Макс. температура, °С	Время испытания, с
	Ширина, мм	Толщина, мм	Площадь, мм ²					
1	12,7	6	76,2	31,471	413,01	Шов	36,0	15
2	12,0		72,0	34,246	475,64	ОМ	45,2	34
3	13,0		78,0	36,564	468,77	Шов	67,5	31
4	11,8		70,8	29,182	412,18	ОМ	64,8	24
5	13,4		80,4	38,138	474,35	Шов	37,5	33
6	13,0		78,0	29,850	382,69	Шов	-	11
7	11,9		71,4	22,421	314,02	Шов	34,9	6
8	13,2		79,2	30,413	384,00	Шов	36,4	11
9	13,6		81,6	27,618	338,46	Шов	47,3	6
10	12,6		75,6	30,203	399,51	Шов	43,4	6
11	11,7		70,2	30,775	438,39	Шов	37,1	15
12	10,0		60,0	26,607	443,45	Шов	56,0	16
13	11,4		68,4	21,133	308,96	Шов	34,3	3
14	12,0		72,0	33,951	471,54	Шов	41,6(ОМ)	29
15	12,3		73,8	36,049	488,47	ОМ	74,2	31
16	12,7		76,2	34,771	456,31	Шов	39,8	23
17	15,0		90,0	39,320	436,89	ОМ	38,8	27
18	11,5		69,0	33,426	484,43	Шов	39,3	31
19	12,4		74,4	5,865	78,83	Шов	-(27,8)	2
20	12,5		75,0	34,256	456,75	Шов	41,7	17



Рис. 5 испытание образца из стали 09Г2С, толщиной 6,0 мм (1 – испытываемый образец, 2 – точка максимального нагрева, 3 – максимальная температура нагрева образца, 4 – разрывная машина РМ-50М)

При испытании КСС №2 из стали 09Г2С толщиной 6,0мм из которого было вырезано 20 образцов, согласно ГОСТ 19281-2014 временное сопротивление при испытании на растяжение данной стали должно быть не менее 430Мпа, прошли испытания 55% (11 шт.) образцов, из них разрушение произошло по сварному шву в 73% (8 шт.), у 27% (3 шт.) по основному металлу,

У образцов, на которые максимальное нагружение было минимальным, максимальная температура нагрева во время разрушения была также минимальна, например образец №13 разрушился при нагрузке 21,133 кН, с временным сопротивлением 308,96 МПа, его максимальная температура нагрева в момент разрушения была 34,3 °С.

Всего по основному металлу разрушилось 20% (4 шт.), 80% (16 шт.) по сварному шву.

Соотношение между максимальными температурами и временем испытания не выявлено.

Таблица 4 - время испытания и максимальная температура

№ образца	13	7	10	9	8	1	11	12	20	16	4	17	14	18	3	15	5	2
Вр. Испыт.	3	6	6	6	11	15	15	16	17	23	24	27	29	31	31	31	33	34
Макс. темп.	34,3	34,9	43,4	47,3	36,4	36	37,1	56	41,7	39,8	64,8	38,8	41,6	39,3	67,5	74,2	37,5	45,2



Рис. 6 график зависимости времени испытания и максимальной температуры

У образцов, с наибольшим количеством дефектов в сварном шве, не прошедшие испытания, время от начала испытания до разрушения было меньше, чем у образцов, которые прошли испытание, либо разрушение произошло по основному металлу.

Температура также зависела от количества и размеров дефектов, где дефектов нет или их количество минимально, максимальная температура в момент разрушения образца была больше, чем у образцов с дефектами и их большим количеством.

Вывод

После проведенных исследований, определения зависимостей, параметров и характеристик теплового и разрушающего контроля можно сделать вывод, что размер дефекта и их количество влияют на результат испытания, а именно: при отсутствии дефектов, либо при малом содержании их в сварном шве, максимальная температура образца в точке разрушения выше, чем у образцов с недопустимым содержанием дефектов, а также максимальная сила нагружения на образец больше, и такие образцы, согласно нормативным документам, являются годными.

Список литературы:

1. Щепетков А. В., Абабков Н. В. Подготовка образцов сварных соединений с дефектами и без дефектов для проведения теплового контроля // Сборник трудов IV Международной научно – практической конференции «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте». 2020. - № 118. – 3 с.
2. Щепетков А. В., Абабков Н. В. Подходы к определению мест предразрушений металлических конструкций. // Сборник материалов XI всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». 2019. – 6 с.

3. ГОСТ 23055-78 Контроль неразрушающий. Сварка металлов плавлением. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля (с Изменениями N 1, 2)
4. ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод (с Изменением N 1)
5. ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия
6. ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
7. ГОСТ 6996-66 Сварные соединения. Методы определения механических свойств
8. ГОСТ 9466-75 Electroды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия
9. Смирнов А. Н., Муравьев В. В., Абабков Н. В. Разрушение и диагностика металлов. - Москва-Кемерово: Инновационное машиностроение. 2016. - 479 с.
10. Смирнов А. Н. Влияние степени деформации сварных соединений углеродистых сталей на структурно-фазовое состояние и поля внутренних напряжений / А.Н. Смирнов, Э.В. Козлов, Е.А. Ожиганов, Н.В. Абабков, В.Л. Князьков // Сварка и диагностика, 2016. № 3. С. 25-28.
11. Оценка напряженно-деформированного состояния сварных соединений углеродистых сталей после различных режимов тепловложения акустическим методом / А. Н. Смирнов, В. Л. Князьков, Н. В. Абабков, Е. А. Ожиганов, Н. А. Конева, Н. А. Попова // Дефектоскопия. - 2018. - № 1. - С. 40-46.
12. Никитенко М.С., Князьков К.В., Абабков Н.В., Ожиганов Е.А. Разработка комплекса средств технической диагностики, восстановления и упрочнения элементов горнодобывающего оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2013. - №S6. - С. 447-456.
13. Смирнов, А. Н. Особенности упругопластического перехода в сварных соединениях стали 09Г2С, выполненных дуговой сваркой при различных режимах тепловложения / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, Е. А. Ожиганов и др. // Сварка и диагностика. 2017. - № 4. - С. 15-20.