

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»
Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент

Должность, место работы

Подпись

И.О. Фамилия

« ____ » _____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

М.А. Иванов

« ____ » _____ 2018 г.

Оценка свариваемости трубных сталей с использованием пробы Тэккен

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ)**

Руководитель ВКР

Подпись

Ярославцев С.И.,
И.О., Фамилия

« ____ » _____ 2018 г.

Автор ВКР
магистрант группы П-246

Воронин Сергей
Викторович

« ____ » _____ 2018 г.

Нормоконтролёр
преподаватель

Ю.В. Безганс

« ____ » _____ 2018 г.

Челябинск, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ	
1.1 Анализ конструкции пробы «Тэккен».....	7
1.2 Материал для пробы «Тэккен» и его свариваемость	9
1.3 Условия испытаний пробы «Тэккен»	10
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
2.1 Базовый вариант технологического процесса	11
2.2 Проектируемый вариант технологического процесса	12
2.3 Выбор способа сварки	13
2.4 Выбор сварочных материалов	14
2.5 Расчет режимов сварки	15
2.6 Выбор сборочного и сварочного оборудования.....	18
2.6.1 Описание приспособления для сборки образцов	18
2.6.2 Выбор сварочной установки	20
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	
3.1 Актуальность.....	22
3.2 Состояние вопроса исследования	23
3.3 Цель и задачи исследования.....	25
3.4 План эксперимента	26
3.5 Методика обработки эксперимента	27
3.6 Результаты проведенных исследований.....	28
3.7 Выводы по разделу	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	58
ПРИЛОЖЕНИЯ	59

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

ВВЕДЕНИЕ

Под свариваемостью понимается способность стали данного химического состава давать при сварке тем или иным способом высококачественное сварное соединение без трещин, пор и прочих дефектов. От химического состава стали зависит ее структура и физические свойства, которые могут изменяться под влиянием нагрева и охлаждения металла при сварке. На свариваемость стали влияет содержание в ней углерода и легирующих элементов. Для предварительного суждения о свариваемости стали известного химического состава можно подсчитывать эквивалентное содержание углерода, а также для более точной оценки свариваемости проводят испытания на свариваемость.

С помощью испытаний на свариваемость определяют пригодность стали к сварке. Не все стали в одинаковой мере пригодны к сварке. Одни стали можно сваривать без каких-либо ограничений в других случаях при сварке необходимо применять предварительный подогрев, соблюдать ограничения по погонной энергии или назначать термическую обработку сварных соединений.

Пригодность стали к сварке определяют испытаниями на свариваемость. В действительности большинство испытаний на свариваемость являются испытаниями на склонность к образованию трещин.

Не все испытания на склонность к образованию трещин имеют одинаково объективную оценку. Для оценки свариваемости стали марки 10Г2ФБЮ в моей работе выбираем пробу «Тэккен». Проба «Тэккен» применяется для выбора параметров сварки корневой части стыковых соединений. [3]

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Анализ конструкции пробы «Тэккен»

Проба «Тэккен» - простое испытание, основанное на дилатации (увеличение или расширение) свариваемых пластин. В основном или несколько видоизменном варианте проба нашла широкое применение. Ее можно использовать в качестве технологического испытания при дуговых способах сварки сравнительно тонких листов (12мм) и листов толщиной до 40мм. [1]

Проба «Тэккен» применяется для выбора параметров сварки корневой части стыковых соединений. Трещины чаще всего распространяются из переходной зоны в зону термического влияния, а это означает, что метод пригоден для сравнительной оценки различных вариантов основного металла. Вместе с тем проба «Тэккен» менее чувствительна к изменениям присадочного материала. Размеры и форма разделки кромок на испытательном образце показана на рисунке 1.1.

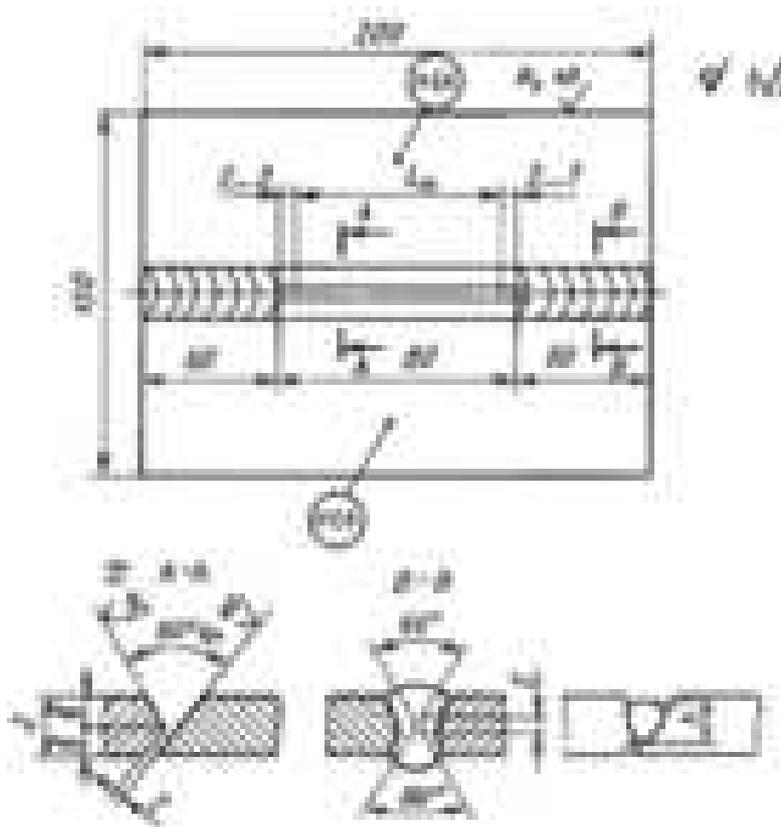


Рисунок 1.1 – Размеры и форма разделки кромок пробы «Тэккен»

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Проба «Тэккен» [ГОСТ 26388-84 (2000)] плоский прямоугольный образец толщиной 12...40 мм с продольной прорезью в центре, оформленной в виде V-образной разделки. Образец сваривается в свободном состоянии и выдерживается после сварки 20 ч. Применение пробы, как правило, ограничивается ручной сваркой покрытыми электродами и в защитных газах. Трещины образуются в корневой части сварного соединения под действием высоких усадочных напряжений. Обязательное условие работы пробы - непровар в корне шва, который служит концентратором напряжений. Наличие трещин выявляется различными методами контроля, в том числе и протравливанием раствором азотной кислоты с последующим изломом образца.

При образовании трещин в качестве дополнительного сравнительно-количественного показателя склонности к холодным трещинам принимают процентное отношение суммарной длины трещины к длине шва или относительной площади трещины к площади продольного сечения шва. За количественный показатель стойкости против трещин принимают температуру подогрева, при которой уже не образуется трещин. [2]

										Лист
										7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.206.00 ПЗ					

1.2 Материал для пробы «Тэккен» и его свариваемость

При изготовлении образцов для пробы «Тэккен» используется сталь марки 10Г2ФБЮ.

Химический состав в % стали 10Г2ФБЮ:

Таблица 1.1 – Химический состав стали

В процентах

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	N	Nb	Ti	Al	Cu
0.08	0.15	1.6	до	до	до	до	0.05	до	0.02	0.01	0.02	до
-	-	-	0.3	0.035	0.03	0.3	-	0.012	-	-	-	0.3
0.13	0.35	1.8					0.12		0.06	0.035	0.05	

Механические свойства стали 10Г2ФБЮ:

Таблица 1.2 – Механические свойства стали

Температура испытаний, °С	σ_b (МПа)	δ_5 (%)	KCV - 20 (кДж / см ²)
20	590	20	144

Сталь 10Г2ФБЮ при расчете углеродного эквивалента на свариваемость имеет $C_{э} \leq 0,43$. Это означает, что у данной стали ограниченная свариваемость. Однако на практике данная сталь имеет хорошую свариваемость.

1.3 Условия испытаний пробы «Тэккен»

Для проведения эксперимента будет осуществляться сварка 6 комплектов образцов толщиной 18 мм и 6 комплектов образцов толщиной 36 мм.

На 3-х комплектах образцов толщиной 18 мм и 3-х комплектах образцов 36 мм будет выполнен корневой шов на разных значениях погонных энергий в цеховых условиях при температуре окружающего воздуха +20°C. После сварки образцы будут остывать при той же температуре +20°C и будут выдержаны в свободной состоянии 20 ч.

На 3-х комплектах образцов толщиной 18 мм и 3-х комплектах образцов 36 мм будет выполнен корневой шов на разных значениях погонных энергий на открытом воздухе при температуре окружающей среды -20°C. После сварки образцы будут остывать на улице при той же температуре -20°C и будут выдержаны в свободной состоянии 20 ч.

									Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.206.00 ПЗ				

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Вариант технологического процесса

Оценка свариваемости трубной марки стали 10Г2ФБЮ на основе пробы «Тэккен» будет выполняться для оценки свариваемости корневого шва изделий в цеховых условиях АО «Трубодеталь» при изготовлении соединительных деталей трубопроводов согласно СТО Газпром 2-2.2-136-2007 «Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов. Часть I».

При сварке корневого шва соединительных деталей трубопроводов в цеховых условиях согласно СТО Газпром 2-2.2-136-2007 необходим предварительный подогрев до $+100^{+30}\text{°C}$ независимо от температуры окружающего воздуха. [6]

Режимы сварки, сварочные материалы, сварочное оборудование приписаны в СТО Газпром 2-2.2-136-2007.

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

2.2 Проектируемый вариант технологического процесса

В проектируемом варианте технологического процесса основным моментом будет отказ от предварительного подогрева при сварке в цеховых условиях при положительной температуре воздуха.

Для обоснования этого момента и будет произведена оценка свариваемости стали 10Г2ФБЮ именно корневого шва.

Отказ от предварительного подогрева существенно удешевит производство продукции, а также значительно снизит трудоёмкость изготовления продукции, а именно отказ от операции предварительного подогрева.

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

2.3 Выбор способа сварки

Сварка корня шва соединительных деталей трубопровода в цеховых условиях производится механизированным способом либо с помощью ручной дуговой сварки.

Для исследования свариваемости стали 10Г2ФБЮ на пробе «Тэккен» выбрана ручная дуговая сварка покрытыми электродами. Выбор способа обусловлен тем, что ручная дуговая сварка является наиболее сложной для выполнения качественного корня шва.

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

2.4 Выбор сварочных материалов

Сварочные материалы были выбраны согласно требованиям СТО Газпром 2-2.2-136-2007. Для сварки будут использованы электроды ESAB марки МТГ-01К с основным типом покрытия $\varnothing 3$ мм. Данные электроды предназначены преимущественно для сварки корневого прохода шва поворотных и неповоротных стыков в положении вертикаль на подъем трубопроводов и других ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей прочностных классов до К60 включительно с нормативным временным сопротивлением разрыву до 589 МПа включительно.

Химический состав электродов МТГ-01К:

Таблица 2.1– Химический состав электродов

В процентах

C	Mn	Si	P+S	P	S
max 0.06	1.35	0.33	max 0.035	max 0.025	max 0.025

Механические свойства электродов МТГ-01К:

Таблица 2.2 – Механические свойства электродов

Предел текучести σ_t , Н/мм ²	Предел прочности σ_B , Н/мм ²	Удлинение δ , %	Ударная вязкость KCV, Дж/см ²	Ударная вязкость KCU, Дж/см ²
≥ 420	≥ 500	≥ 26	≥ 120 при +20°C ≥ 59 при -40°C	≥ 130 при +20°C ≥ 50 при -60°C

2.5 Расчет режимов сварки

Режимы сварки корня шва на пробе «Тэккен» были взяты исходя из рекомендуемых режимов согласно таблице 2.3.

Таблица 2.3–Рекомендуемые режимы ручной дуговой сварки электродами с основным видом покрытия на подъем

Слой шва	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток (А) в положении при сварке		
		нижнее	вертикальное	потолочное
Корневой	2,0-2,6	80-90	70-90	70-80
	3,0-3,25	90-120	90-110	80-110

Данные режимы даны в СТО Газпром 2-2.2-136-2007.

Для выполнения испытаний были взяты следующие режимы, предоставленные в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Режимы сварки для каждого образца пробы «Тэккен»

№	Толщина стенки, мм	Температура окружающего воздуха, °С	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток (А), обратная полярность	Скорость сварки, см/м	Погонная энергия, кДж/см

Продолжение таблицы

№	Толщина стенки, мм	Температура окружающего воздуха, °С	Диаметр электрода , мм	Сварочный ток (А), обратная полярность	Скорость сварки, см/м	Погонная энергия, кДж/см

После сварки образцов была рассчитана погонная энергия исходя из скорости сварки $V_{св}$ и исходя из площади наплавленного металла F_H по формуле (1).

$$V_{св} = \alpha_H * I_{св} * 100 * \gamma * F_{HМ} / \tau \quad (1)$$

Где, α_H -коэффициент наплавки 11,5 (г/А*ч),

-
П
Л
О
Т
Н
О
С
Т
Б

$$V_{св1} = \frac{11,5 * 90}{100 * 8,1 * 0,21} = 6 [м/ч] = 10 [см/мин]$$

$$V_{св2} = \frac{11,5 * 90}{100 * 8,1 * 0,3} = 4,2 [м/ч] = 7 [см/мин]$$

$$V_{св3} = \frac{11,5 * 90}{100 * 8,1 * 0,12} = 10,68 [м/ч] = 17,8 [см/мин]$$

По формуле (2) считаем погонную энергию, значение $U_{св} = 19$ В.

$$Q_{п} = U \cdot I_{св} \cdot 601000 \cdot V_{св} \text{кДж/см} \quad (2)$$

Подставив полученные значения скоростей сварки, получаем следующие погонные энергии:

- «Трассовый» режим, т.е. скорость сварки, удобная для сварщика ($Q_{п} = 10,3$ кДж/см)
- На повышенной погонной энергии, т.е. сварщик вел процесс сварки преднамеренно медленней обычного режима ($Q_{п} = 14,7$ кДж/см).
- На пониженной погонной энергии, т.е. сварщик вел процесс сварки быстро перемещая электрод, «беглым» шагом ($Q_{п} = 5,8$ кДж/см).

2.6 Выбор сборочного и сварочного оборудования

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

2.6.1 Описание приспособления для сборки образцов

Для проведения эксперимента заготовки собирались на сварочном столе на ровном листе стали, зазор 2 мм обеспечивался по всей длине будущего экспериментального шва путем установки клиньев с последующим замером УШС-3. Заготовки прижимались струбцинами и на их концах приваривались заходные пластины.

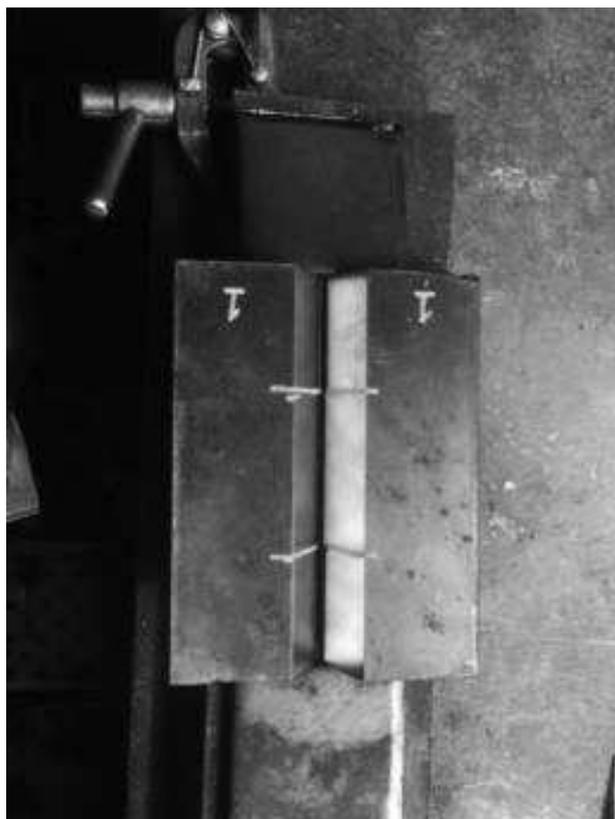


Рисунок 2.1 – Сборка пластин

После сборки на пластинах заваривались хвостовики на сварочном столе, после чего образцы остывали, контрольный стык очищался от грязи, брызг металла и прочих загрязнений.

По окончании сборки также был произведен замер зазора с помощью УШС-3.

Зазор 2 мм был обеспечен по всей длине контрольного стыка.

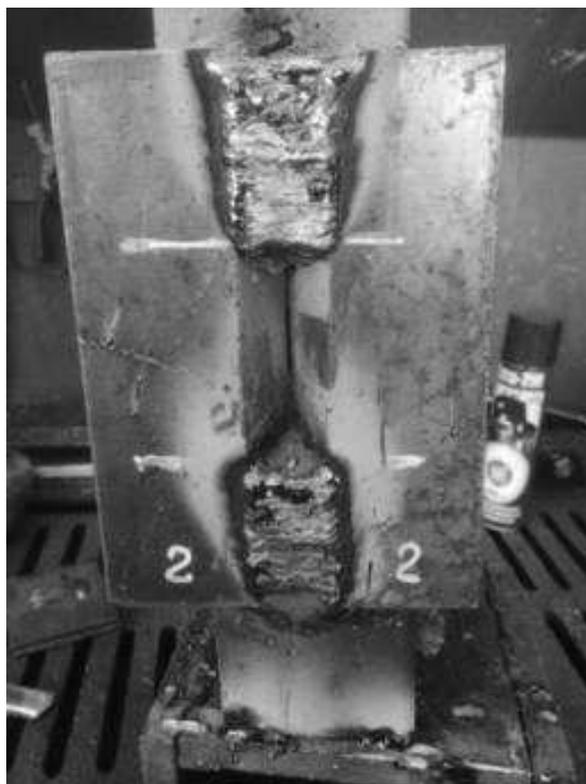


Рисунок 2.2 – Заварка хвостовиков



Рисунок 2.3 – Готовый образец для сварки

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

2.6.2 Выбор сварочной установки

Для проведения эксперимента был выбран выпрямитель сварочный многопостовой типа ВДМ-6303 С (рисунок 5), который используется в условиях производства. Выпрямитель используется для наполнения постов для ручной дуговой сварки покрытыми электродами изделий из углеродистых и легированных сталей на постоянном токе.

Выпрямитель имеет фиксированную внешнюю характеристику. Регулировка сварочного тока для конкретного поста производится отдельно с помощью балластного реостата.

Технические характеристики машины приведены в таблицы 2.5.

Таблица 2.5 – Технические характеристики ВДМ 6303 С

Напряжение питающей сети, В	3x380
Частота питающей сети, Гц	50
Номинальный сварочный ток, А (при ПВ=100%)	630
Номинальный сварочный ток одного поста, А (при ПВ=60%)	315
Количество одновременно работающих постов, не более	4
Номинальное рабочее напряжение, В	70
Напряжение холостого хода, В не более	85
Потребляемая мощность , не более, кВа	46
Диаметр электрода, мм	3...6
Габаритные размеры, мм, не более	650x580x630
Масса, кг, не более	205



Рисунок 2.4– Выпрямитель сварочный многопостовой типа ВДМ-6303 С

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

3.1 Актуальность

Сварка, как и большинство технологических процессов, может сопровождаться образованием дефектов в сварных соединениях. Наиболее опасными дефектами сварных соединений являются трещины, наличие которых чаще всего является недопустимым. Статистика говорит о том, что от общего числа дефектов в сварных соединениях на долю трещин приходится более 50%. Среди различного рода трещин особое место занимают холодные трещины.

Проблема холодных трещин в полной мере не решена до сих пор. Напротив, в связи с расширяющимся применением для изготовления сварных конструкций сталей повышенной и высокой прочности, различных композиционных материалов, она в некоторых случаях даже обостряется. Далеко не всегда понятно, как будут вести себя та или иная сталь, сплав в условиях сварочного термомодеформационного цикла. В этой связи предварительная оценка поведения их, сводящаяся часто к оценке вероятности образования холодных трещин при сварке, имеет практическую, производственную значимость.

Оценив свариваемость стали 10Г2ФБЮ, а именно корня шва при изготовлении изделий из этой стали, можно будет дать рекомендации по режимам сварки. В ходе выполнения работы актуально будет доказать, что применение предварительного подогрева в цеховых условиях нецелесообразно, и при отказе от этой операции получится качественный корень шва.[3]

										Лист
										21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.206.00 ПЗ					

3.2 Состояние вопроса исследования

Применяемые в настоящее время методы оценки склонности материалов к образованию холодных трещин при сварке по характеру показателей можно разделить на количественные и качественные, по характеру оценки – на прямые и косвенные.

Критерии качественной оценки не имеют численного значения и лишь позволяют сделать вывод о склонности или несклонности металла к образованию трещин. [4]

Оценка свариваемости сталей включает в себя такие показатели, как:

1. Склонность стали к образованию холодных и горячих трещин при сварке в металле сварного шва или зоне термического влияния.
2. Склонность к образованию закалочных структур и изменению структуры металла в зоне термического влияния. В этой области происходит сильное укрупнение зерен, и, как следствие, снижение прочности.
3. Физико-механические характеристики сварного соединения
4. Соответствие специальных показателей сварного соединения (таких как жаропрочность, износостойкость и др.) заданным требованиям.

Холодные трещины чаще всего возникают из-за закаливаемости стали при быстром охлаждении и насыщении металла шва и зоны термического влияния водородом. Они, как правило, зарождаются по истечении некоторого времени после сварки и наплавки и развиваются в течение нескольких часов или даже суток.

Для оценки склонности металла к появлению холодных трещин чаще всего используется углеродный эквивалент, которым можно пользоваться как показателем, характеризующим свариваемость, при предварительной оценке последней. [2]

В России наиболее распространенным и приемлемым для сталей, является следующее:

$$C_{\Sigma} = C + Mn/6 + Cr/5 + V/5 + Mo/4 + Ni/15 + Ca/15 + Cu/13 + P/2 \quad (4)$$

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Испытания на склонность к образованию холодных трещин можно разделить на такие группы:

1. Методы, предусматривающие использование реального процесса сварки жестких образцов, пробы «Тэккен», Лихайского университета, СТС, крестовую, RDi с принудительной жесткостью TRC и RRC, с внешней дополнительной нагрузкой ЛТП.

2. Испытания, предусматривающие использование реального цикла сварки, на составном образце, метод «Имплант» по Гранжону.

3. Испытания с имитированным циклом сварки (например, «Терморестор», «Глибл»). [3]

Для данной работы проба «Тэккен» является главным критерием оценки свариваемости стали 10Г2ФБЮ. Основываясь на моделирование условия сварки пробы «Тэккен» в ESISYSWELD для оценки уровня напряжений при охлаждении сварного соединения [12], были проанализированы наиболее вероятные места зарождения холодных трещин.

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Цель и задачи исследования

Целью данных исследований является оценка свариваемости трубной марки стали 10Г2ФБЮ с использованием пробы Тэккен.

Задачи:

1. Провести литературный обзор.
2. Исследование существующих методов оценки свариваемости сталей.
3. Изготовление образцов для пробы Тэккен.
4. Сварка корня шва образцов.
5. Оценка результатов пробы.
6. Проведение замера твердости шва.
7. На основе полученных результатов дать рекомендации по сварке корневого слоя трубных узлов в цеховых условиях.
8. Сделать выводы по исследовательской работе.

									Лист
									24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.206.00 ПЗ				

3.4 План эксперимента

1. Изготовить пластины из листа стали марки 10Г2ФБЮ, размером 200x75x18мм в количестве 12 шт.
2. Изготовить пластины из листа стали марки 10Г2ФБЮ, размером 200x75x36мм в количестве 12 шт.
3. Произвести сборку пластин.
4. Произвести сварку образцов на разных режимах при разной температуре.
5. Произвести резку образцов на темплеты в инструментальном цехе с использованием ленточной пилы.
6. Провести протравливание опытных образцов в химической лаборатории.
7. Провести механические испытания на замер твердости.
8. Провести сравнительный анализ полученных результатов. Построить графики.
9. Сделать выводы по работе.

										Лист
										25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.206.00 ПЗ					

Результаты проведенных исследований

После изготовления все темплеты были отшлифованы и были осмотрены на наличие трещин. В химической лаборатории все темплеты были протравлены раствором азотной кислоты, и был произведен макро- и микроанализ корня шва, выборочно на одном из темплетов для каждого режима произведен замер твердости.

Образцы, сваренные на повышенной погонной энергии (клеймо №2). На одном из образцов произведен замер твердости по методу Викерсса (HV 10).



Рисунок 3.1– Темплеты, вырезанные из образца с клеймом №2 и протравленные раствором азотной кислоты

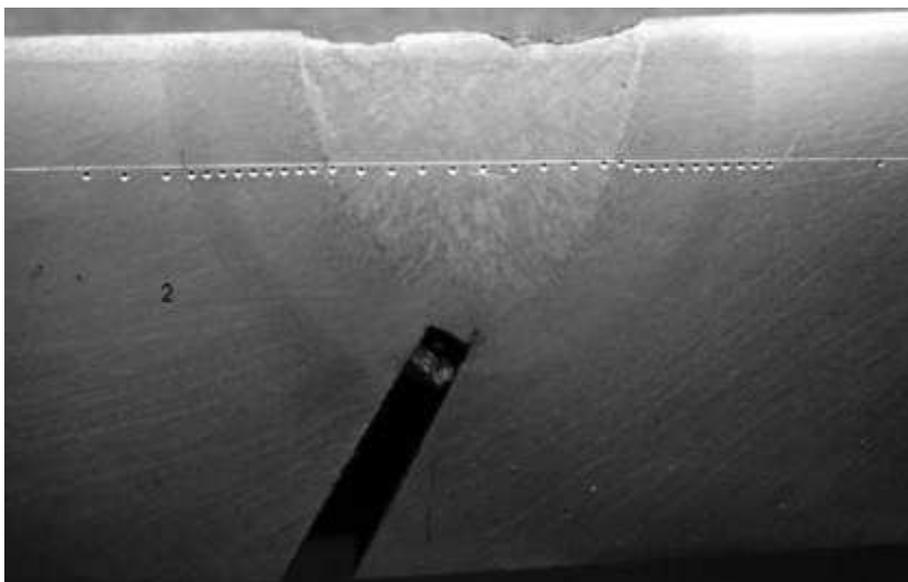


Рисунок 3.2– Замер твердости на темплете

Значения твердости на образце, сваренном на повышенной погонной энергии, с числовыми значениями и распределением по зонам.

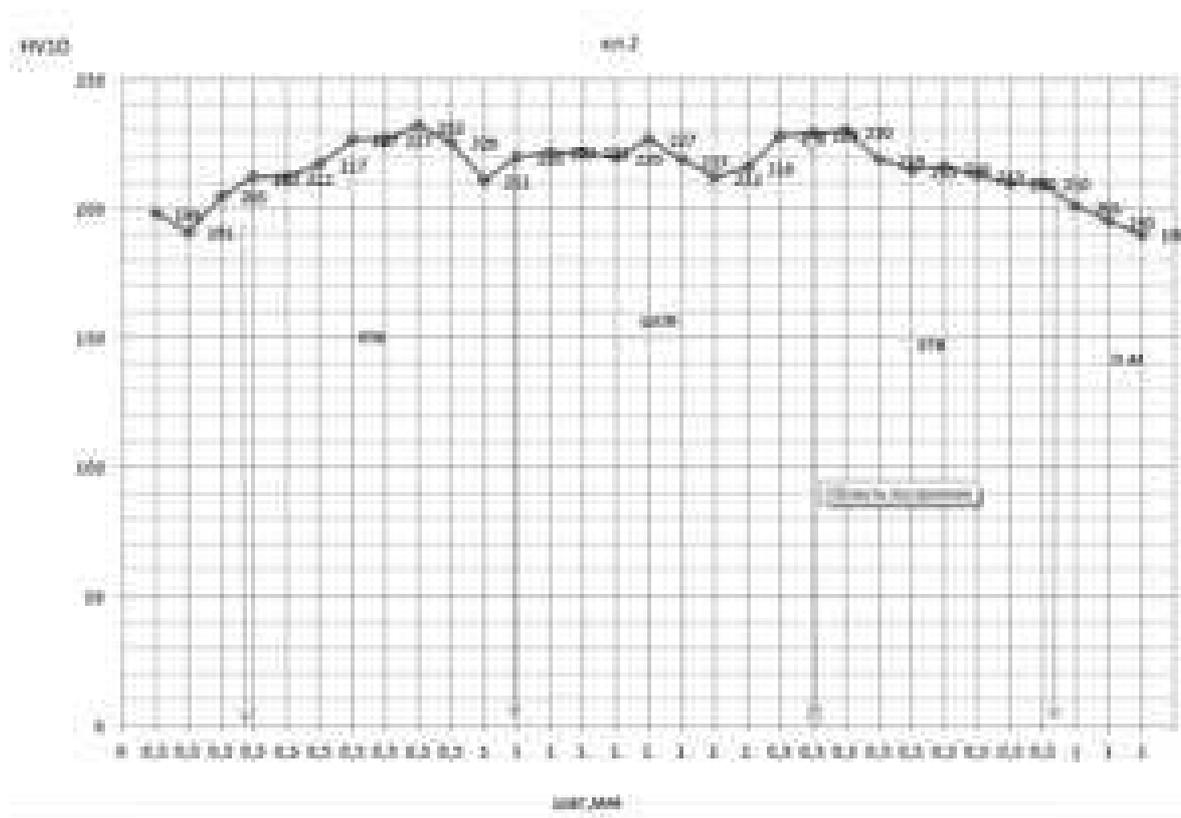


Рисунок 3.3– Значения твердости на образце

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.206.00 ПЗ

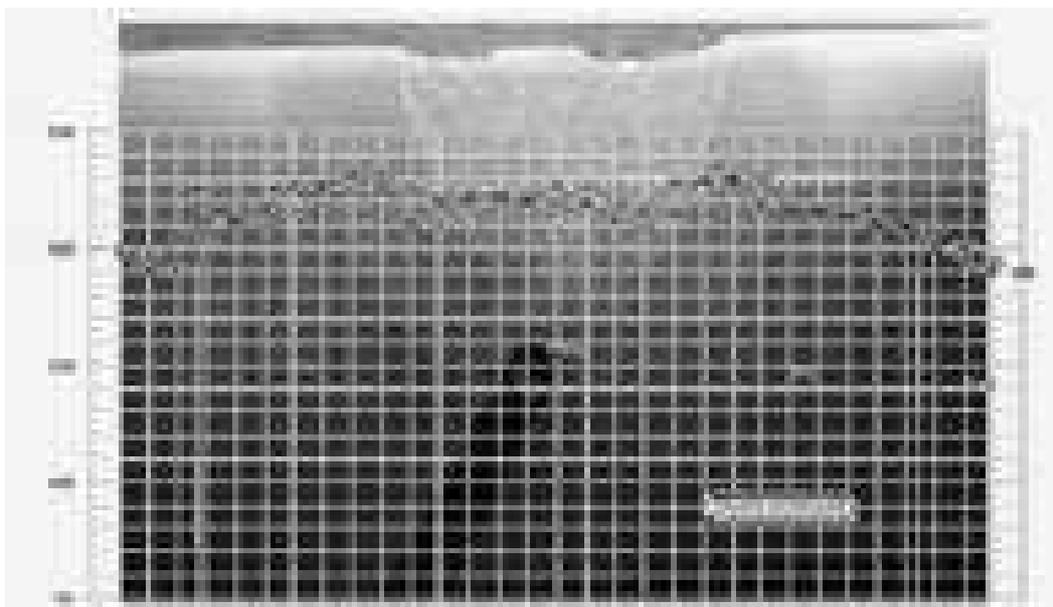


Рисунок 3.4– Наложение значений твердости на измеряемый участок
Образцы, сваренные на пониженной погонной энергии (клеймо №3). На одном из образцов произведен замер твердости по методу Виккерса (HV 10 (Кгс)).



Рисунок 3.5– Темплеты, вырезанные из образца с клеймом №3 и протравленные раствором азотной кислоты

На одном из образцов, сваренных на пониженной погонной энергии, была выявлена трещина, как видно на рисунке 3.6.

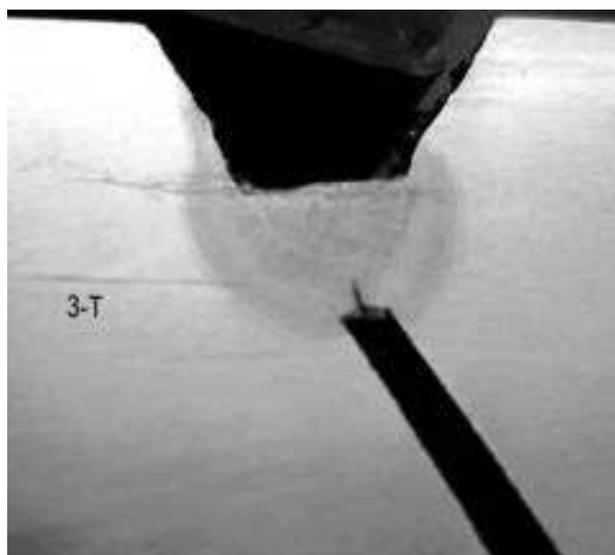


Рисунок 3.6– Темплет с трещиной, вырезанный из образца, сваренного на пониженной погонной энергии

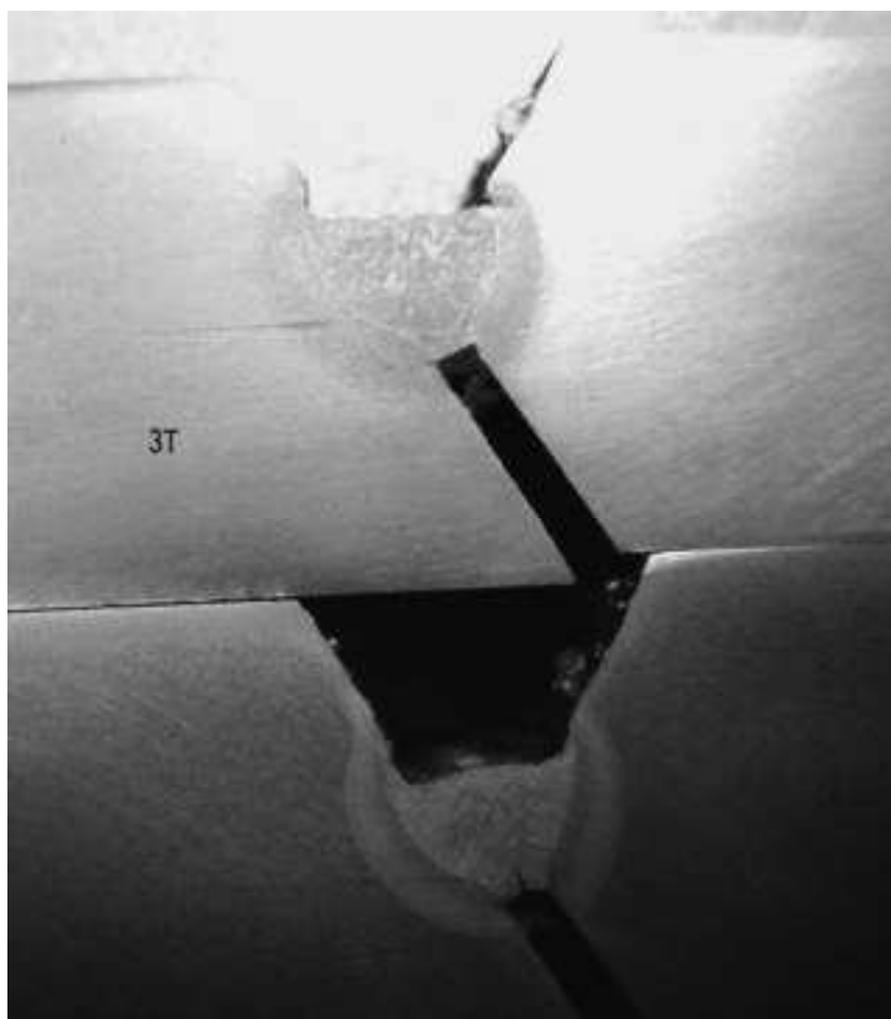


Рисунок 3.7– Темплет с трещиной, с двух сторон

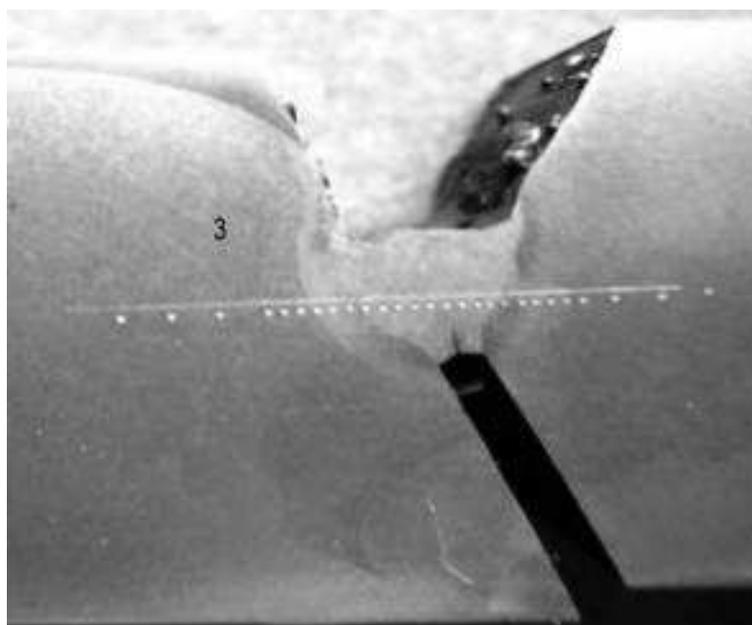


Рисунок 3.8– Замер твердости на темплете с трещиной



Рисунок 3.9–График твердости темплета с трещиной с числовыми значениями.

Твердость близкая к HV 300 указывает на то, что в структуре ЗТВ уже присутствует смесь твердых продуктов распада аустенита, которые склонны к образованию холодных трещин, что и произошло со швом.

Образцы, сваренные на «трассовом» режиме (клеймо №1). На одном из образцов произведен замер твердости по методу Викерса (HV).



Рисунок 3.10– Темплеты, вырезанные из образца с клеймом №1

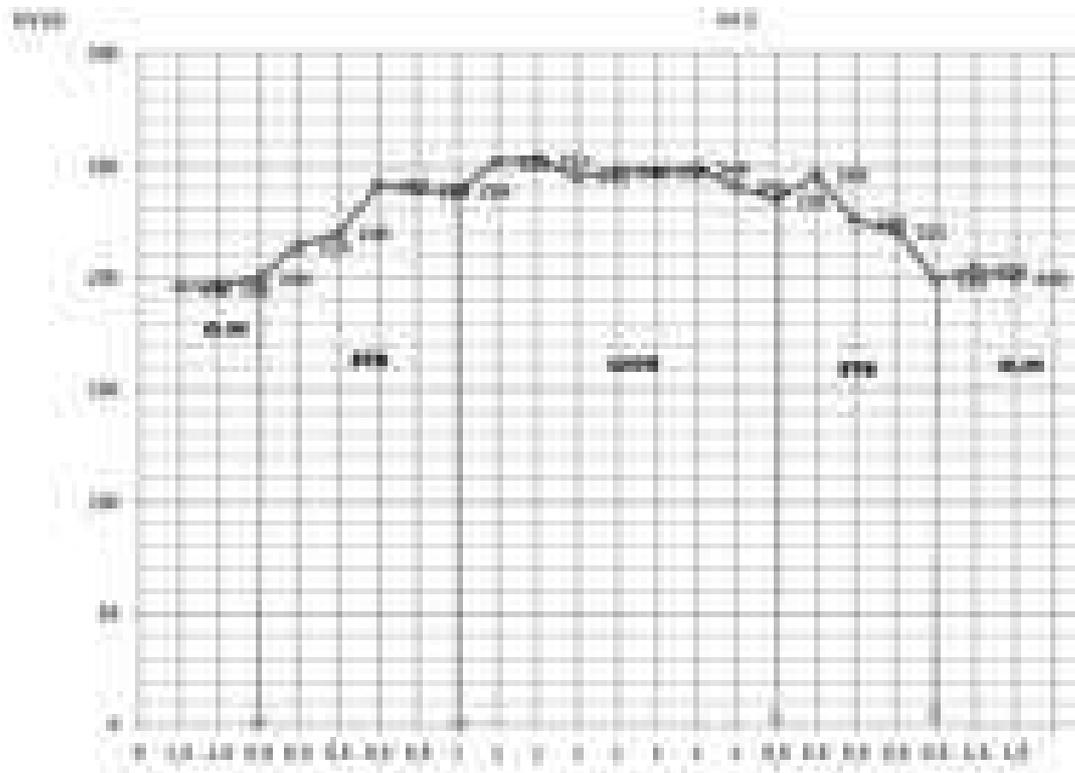


Рисунок 3.11 – График твердости для образца с клеймом №1

Сварка пластин толщиной 18 мм с клеймами № 4, 5 и 6 выполнялась на улице при температуре окружающего воздуха -20°C . После сварки пластины остывали и 24 часа находились на улице.

Образец с клеймом №4, сваренный на «трассовом» режиме при отрицательной температуре окружающего воздуха, изображён на рисунке 3.12.



Рисунок 3.12 –Темплеты, вырезанные из образца с клеймом №4

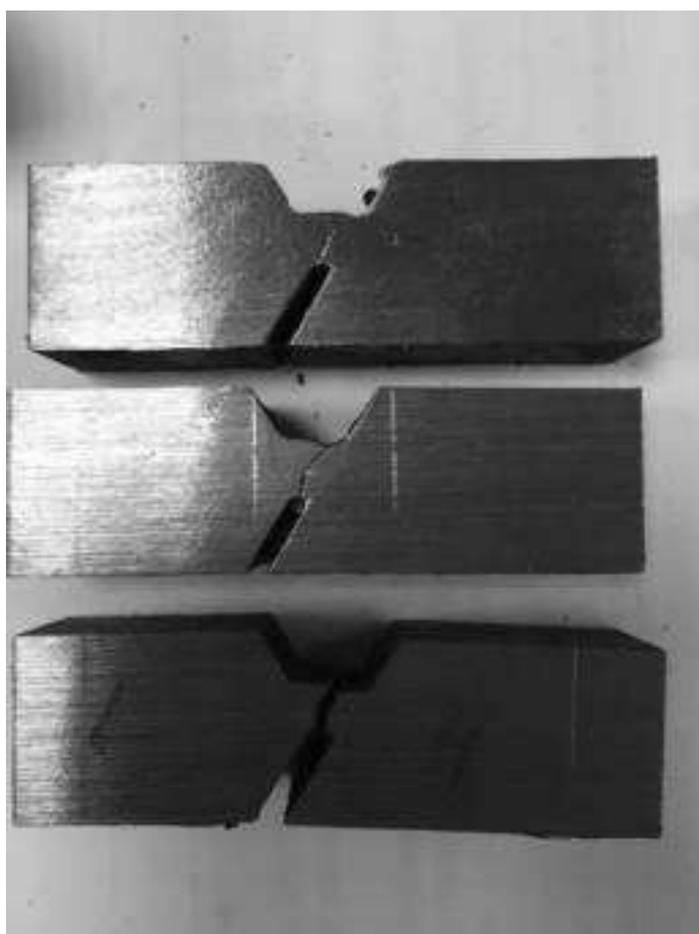


Рисунок 3.13 – Темплеты после шлифовки, вырезанные из образца с клеймом №4

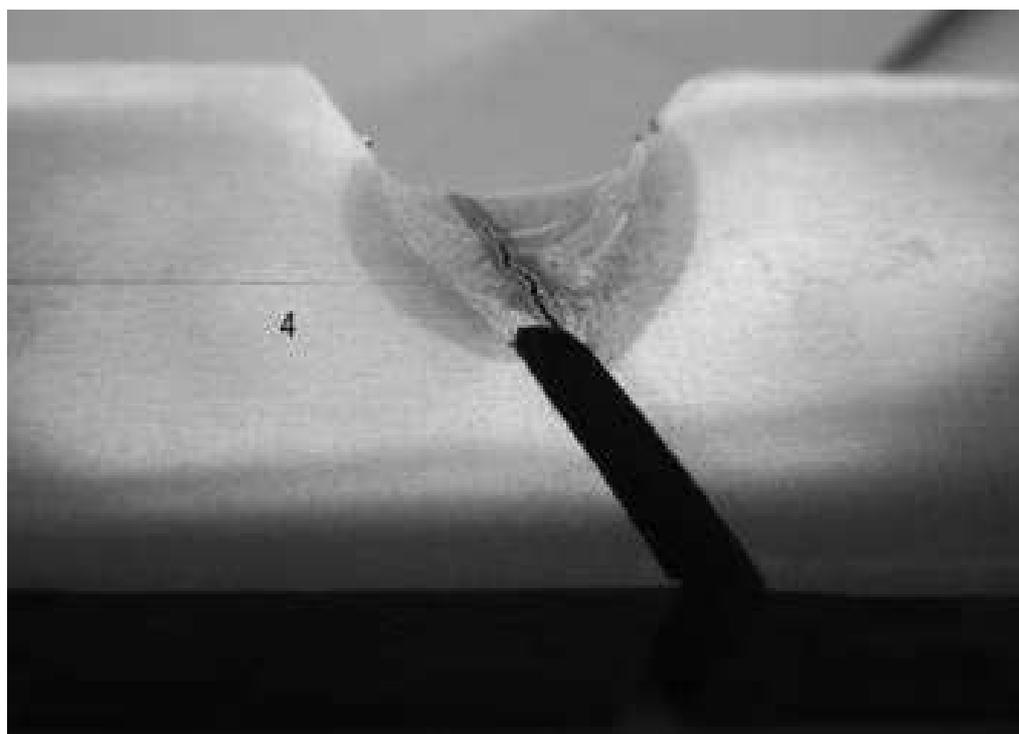


Рисунок 3.14 – Трещина на протравленном шлифе с клеймом №4

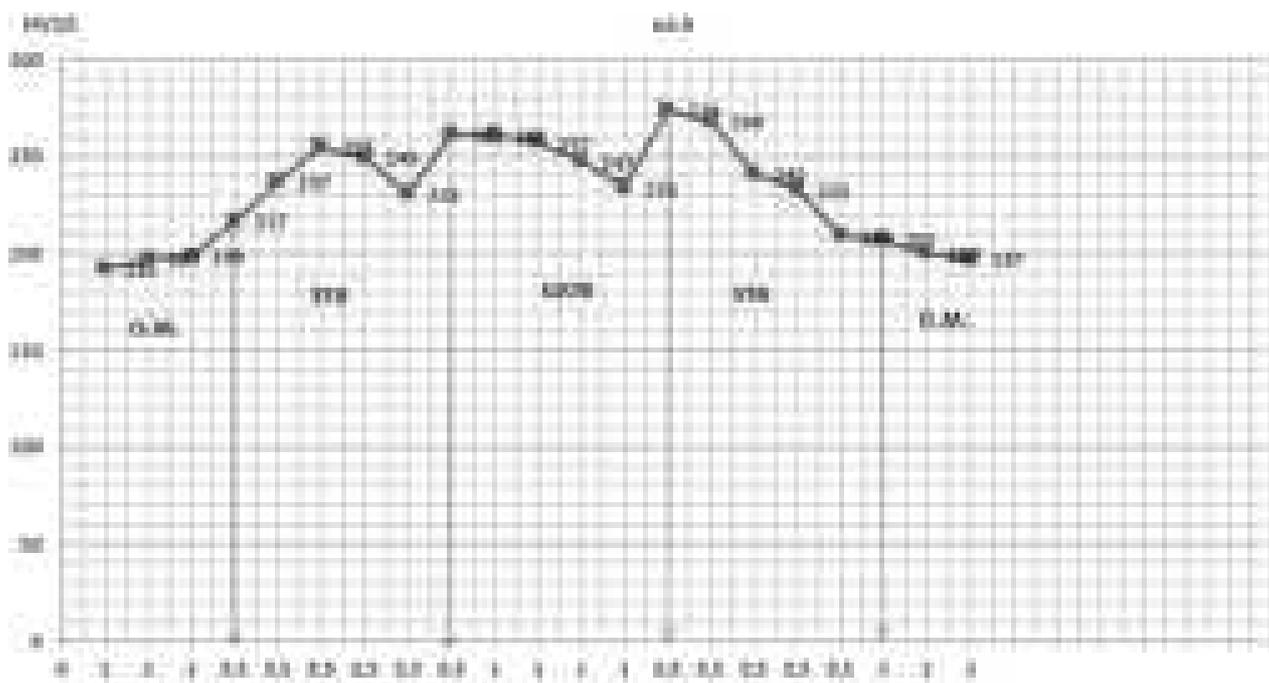


Рисунок 3.15 – График твердости темплета из образца №4

Образец с клеймом №5, сваренный на пониженной погонной энергии при отрицательной температуре окружающего воздуха, изображён на рисунке 3.16.



Рисунок 3.16 – Темплеты, вырезанные из образца с клеймом №5

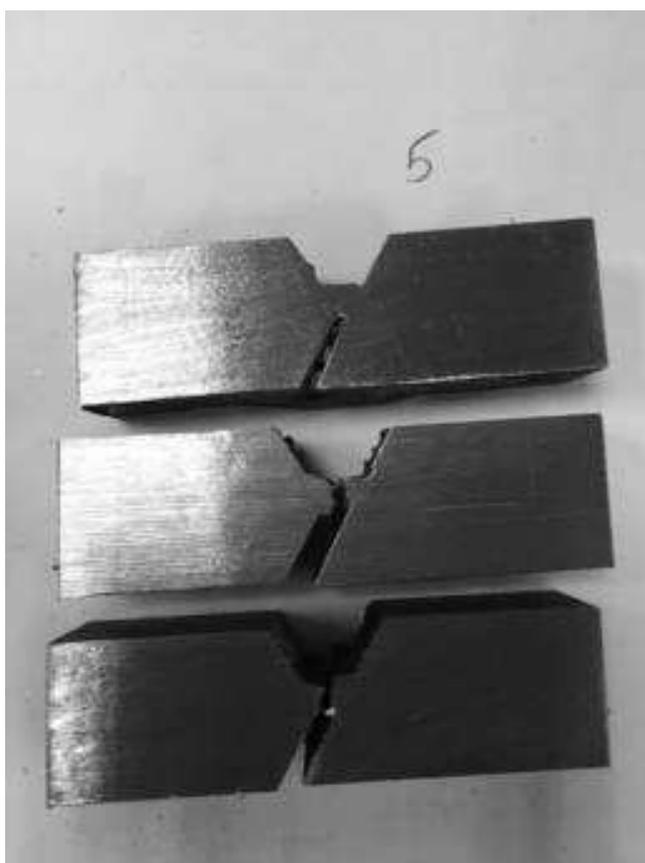


Рисунок 3.17 – Темплеты после шлифовки, вырезанные из образца с клеймом №5

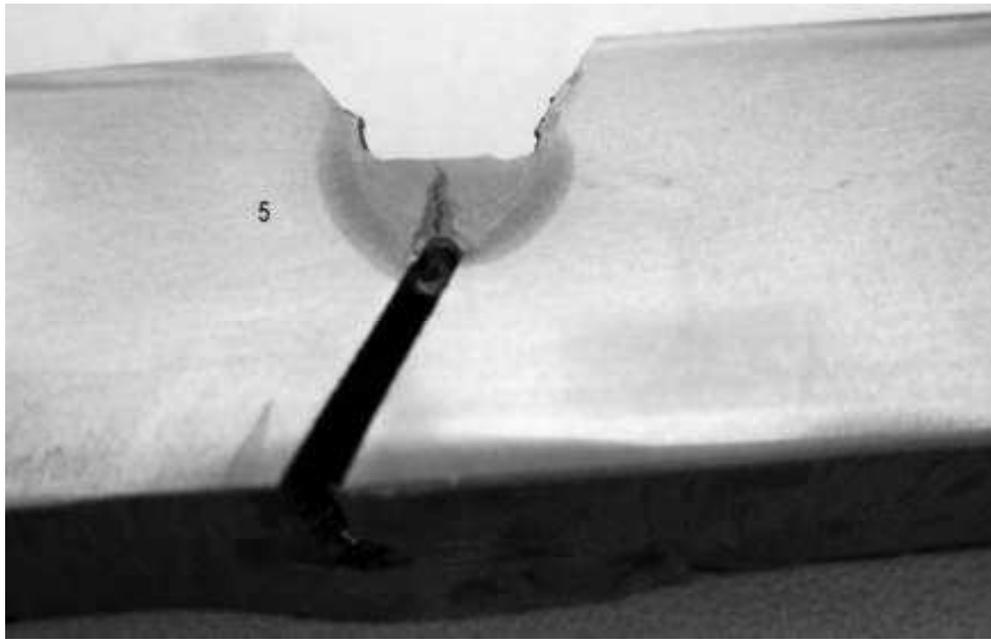


Рисунок 3.18 – Трещина на протравленном шлифе с клеймом №5

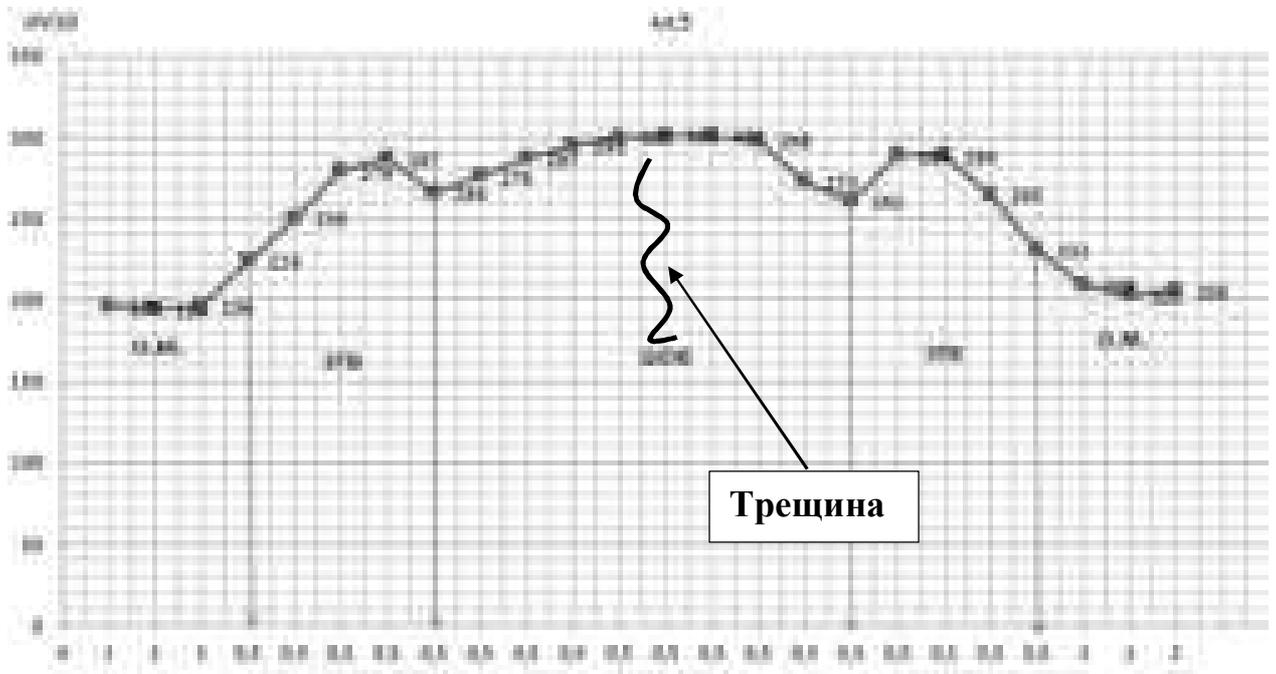


Рисунок 3.19 – График твердости темплета из образца №5

Образец с клеймом №6, сваренный на повышенной погонной энергии при отрицательной температуре окружающего воздуха, изображён на рисунке 3.20.



Рисунок 3.20 – Темплеты, вырезанные из образца с клеймом №6

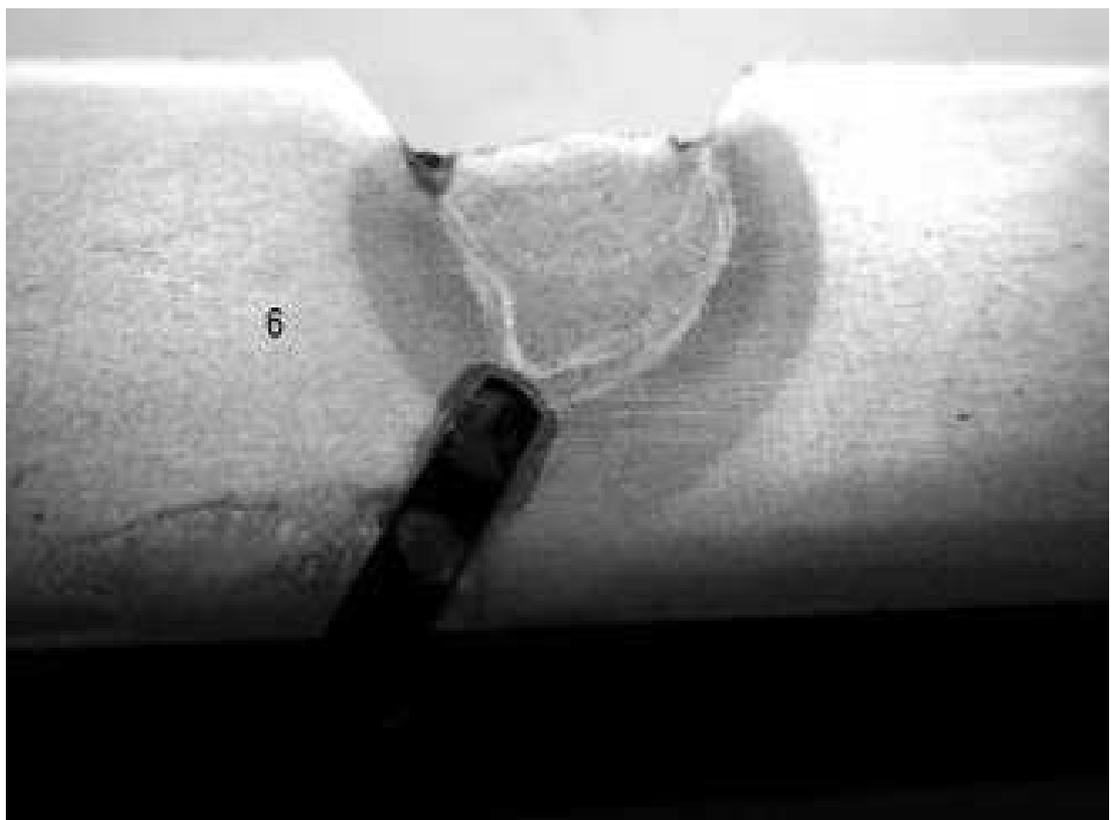


Рисунок 3.21 –Протравленный шриф с клеймом №6

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.206.00 ПЗ

Лист

37

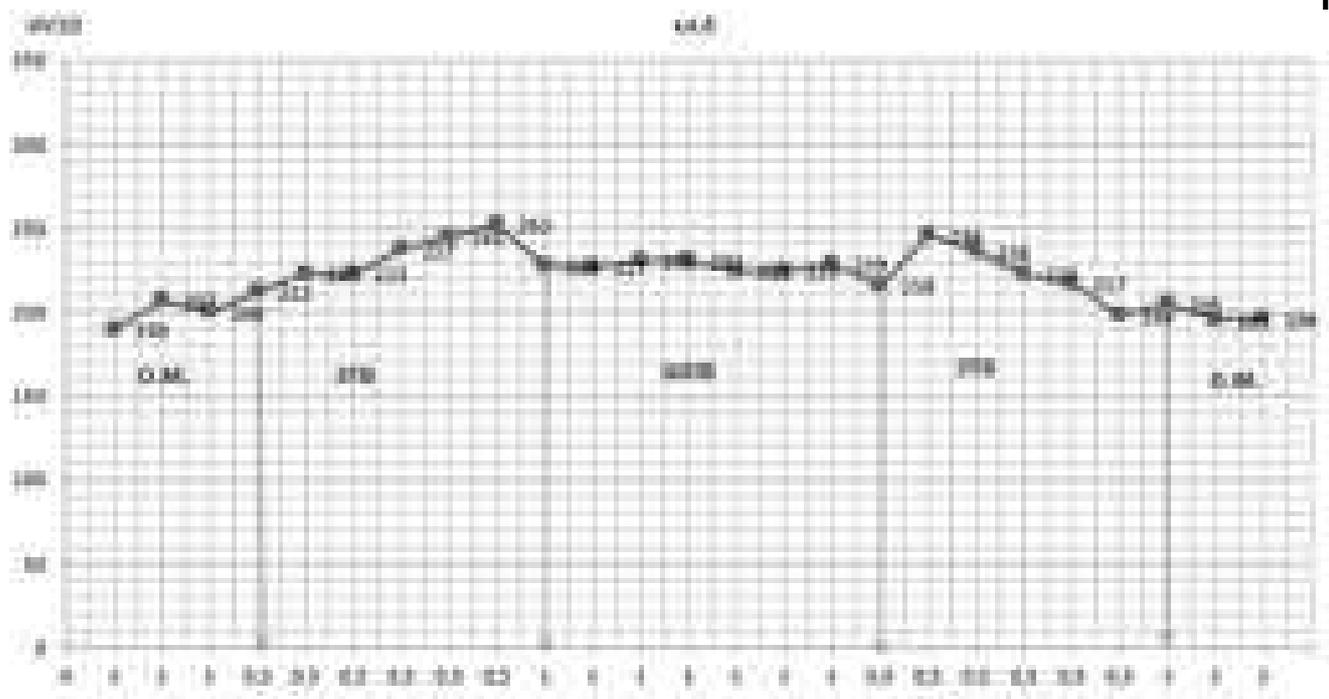


Рисунок 3.22 – График твердости темплета из образца №6

Пластины толщиной 36 мм аналогично разрезались на темплеты и были отправлены в химическую лабораторию для травления в азотной кислоте, снятия макро–микроструктуры и для замера твердости на одном темплекете из серии.

Сварка пластин толщиной 36 мм с клеймами № 1.1, 2.1 и 3.1 выполнялась на улице при температуре окружающего воздуха -20°C . После сварки пластины остывали и 24 часа находились на улице.

Образец с клеймом №1.1, сваренный на «трассовом» режиме при отрицательной температуре окружающего воздуха, изображён на рисунке 3.23.



Рисунок 3.23 – Темплеты, вырезанные из образца с клеймом № 1.1



Рисунок 3.24 – Трещина, выявленная после шлифовки темплета с клеймом № 1.1

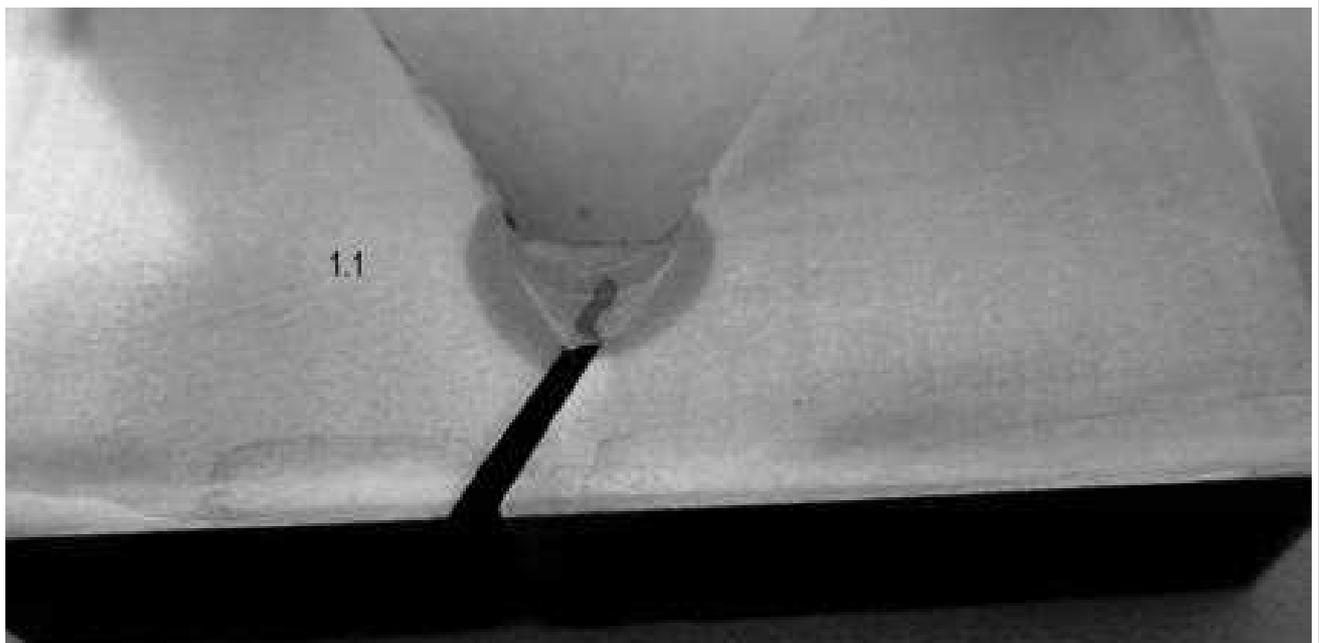


Рисунок 3.25 – Протравленный темплет с трещиной (клеймо №1.1)

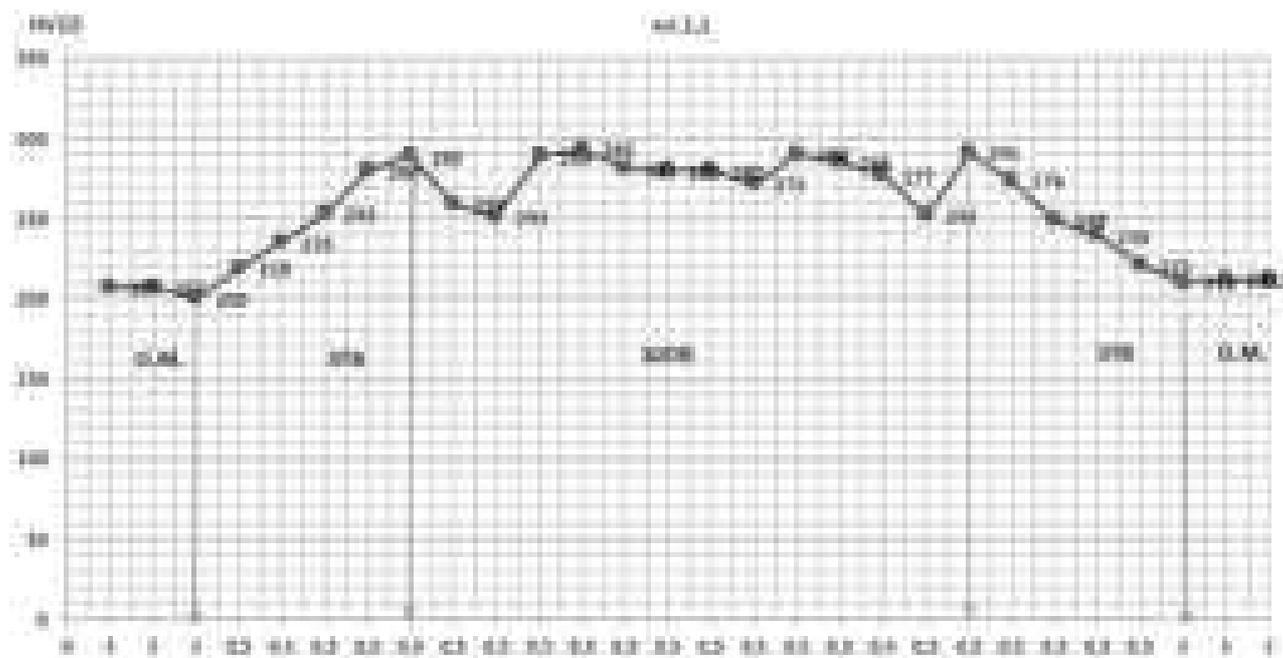


Рисунок 3.26 – График твердости темплета из образца №1.1

Образец с клеймом № 2.1, сваренный на пониженной погонной энергии при отрицательной температуре окружающего воздуха, изображён на рисунке 3.27.



Рисунок 3.27 – Темплеты, вырезанные из образца с клеймом № 2.1

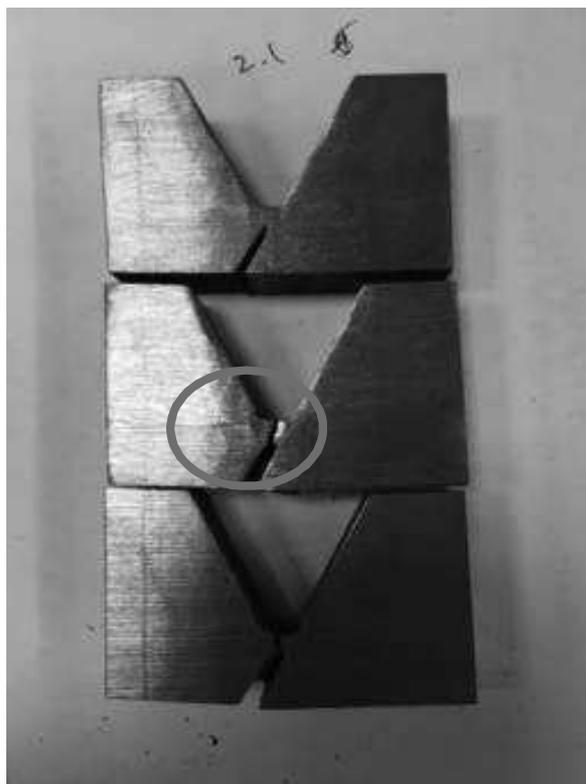


Рисунок 3.28 – Темплеты после шлифовки с клеймом № 2.1

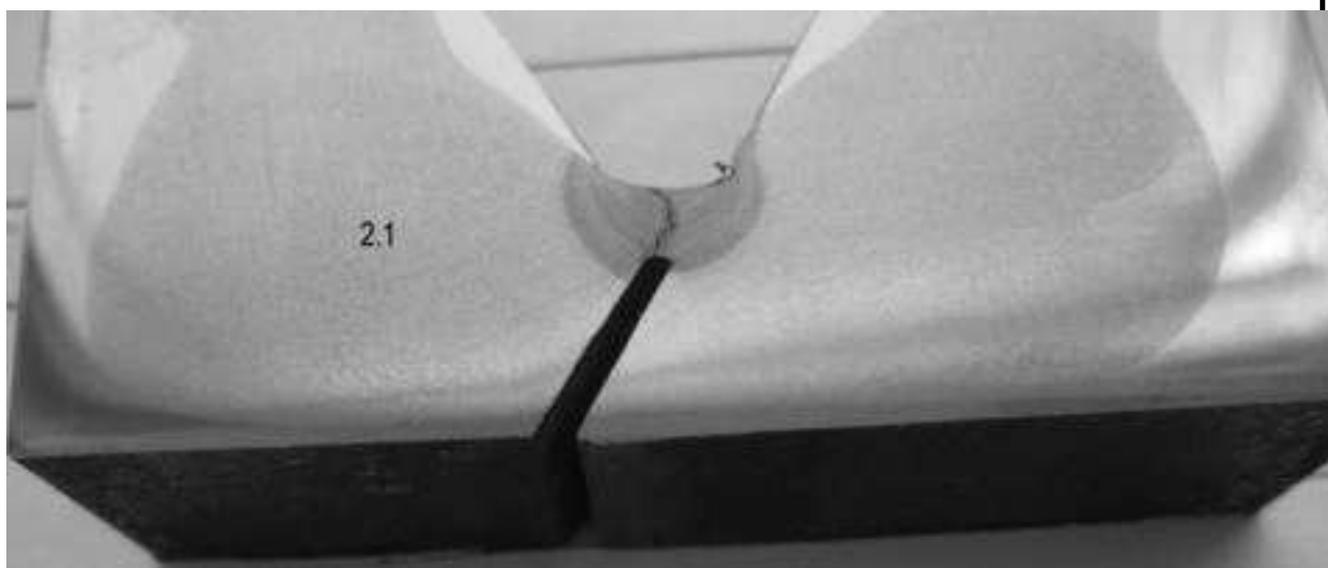


Рисунок 3.29 – Протравленный темплет с трещиной (клеймо №2.1)

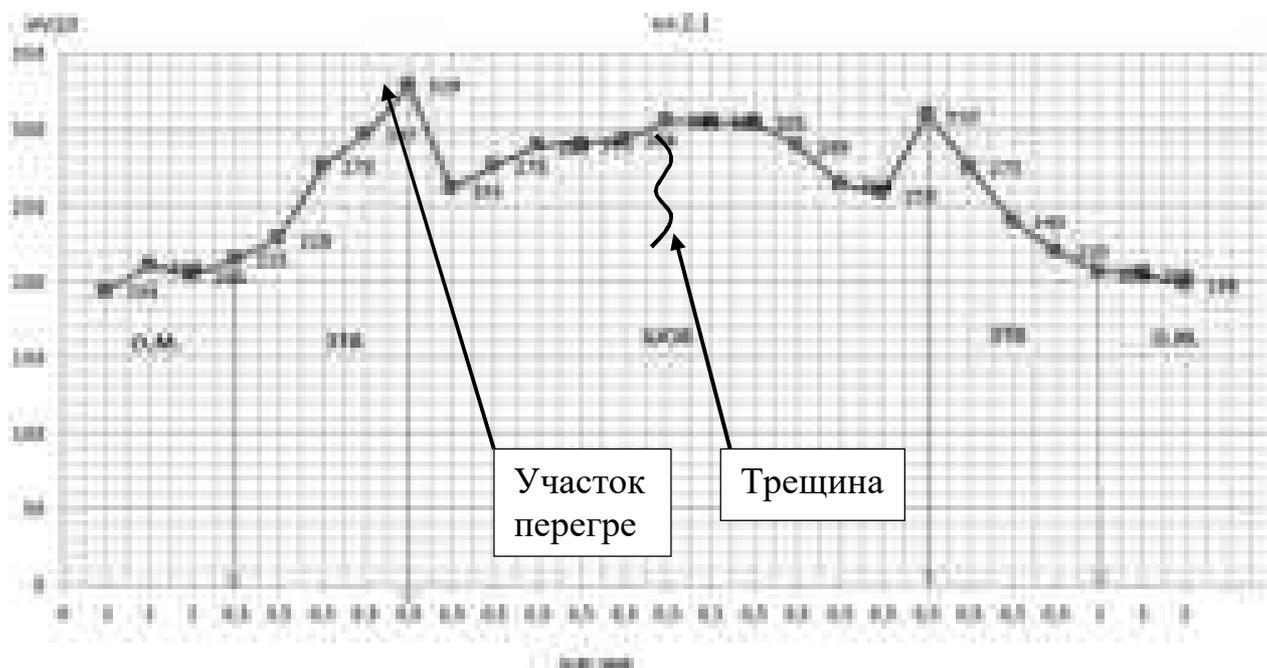


Рисунок 3.30 – График твердости темплета из образца №2.1

Образец с клеймом № 3.1, сваренный на повышенной погонной энергии при отрицательной температуре окружающего воздуха, изображён на рисунке 3.31.



Рисунок 3.31 – Темплеты, вырезанные из образца с клеймом № 3.1

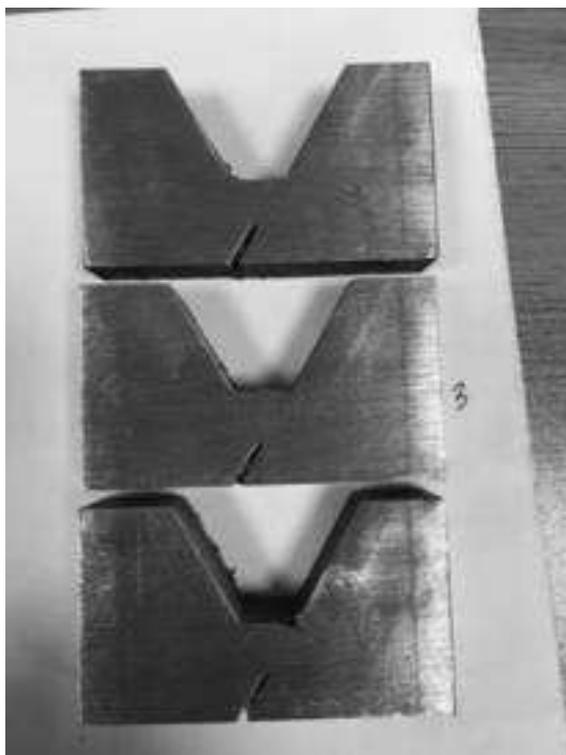


Рисунок 3.32 – Темплеты после шлифовки с клеймом № 3.1

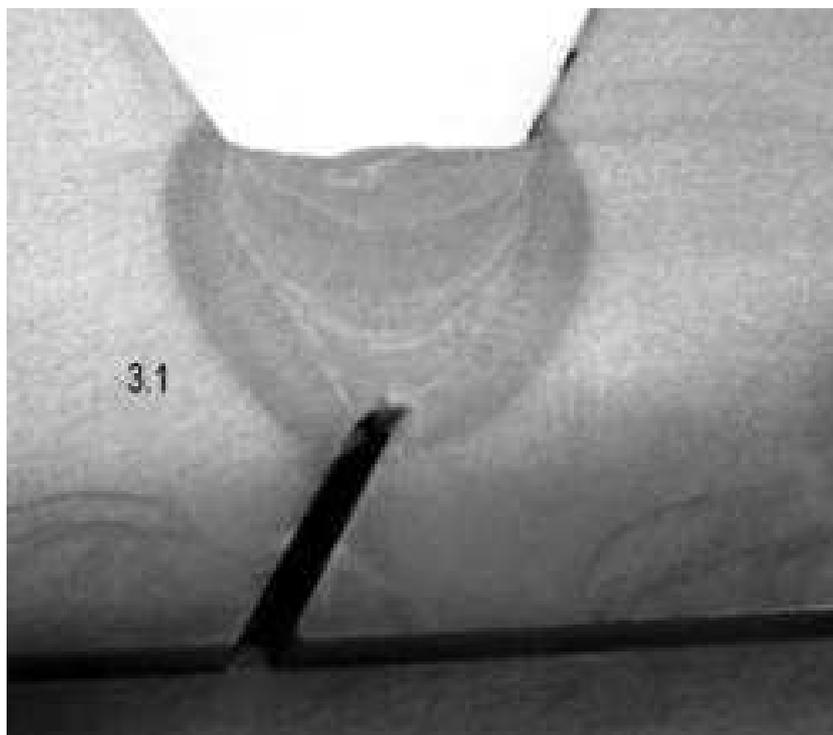


Рисунок 3.33 – Протравленный темплет (клеймо №3.1)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.206.00 ПЗ

Лист

43

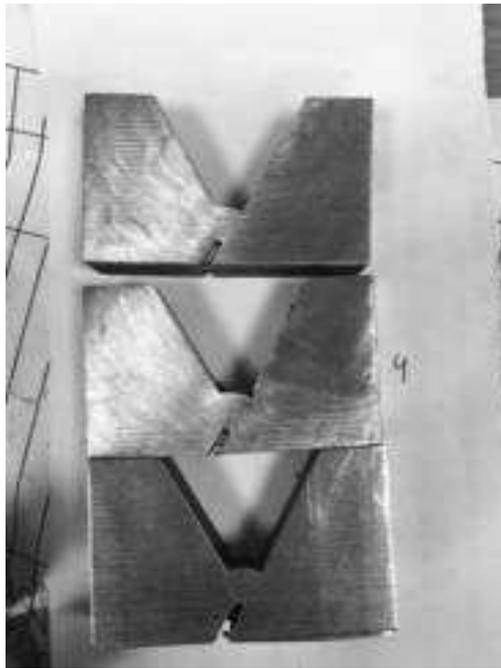


Рисунок 3.36 – Темплеты после шлифовки с клеймом № 4.1

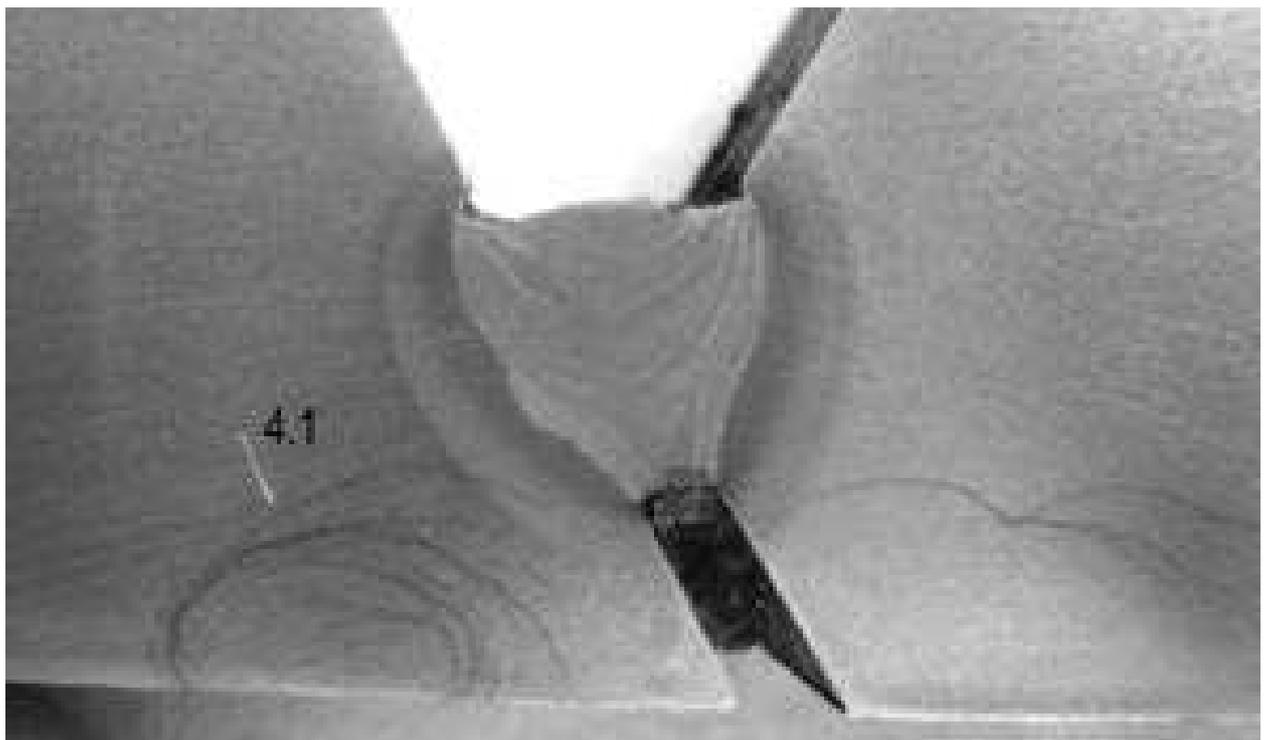


Рисунок 3.37 – Протравленный темплет (клеймо №4.1)

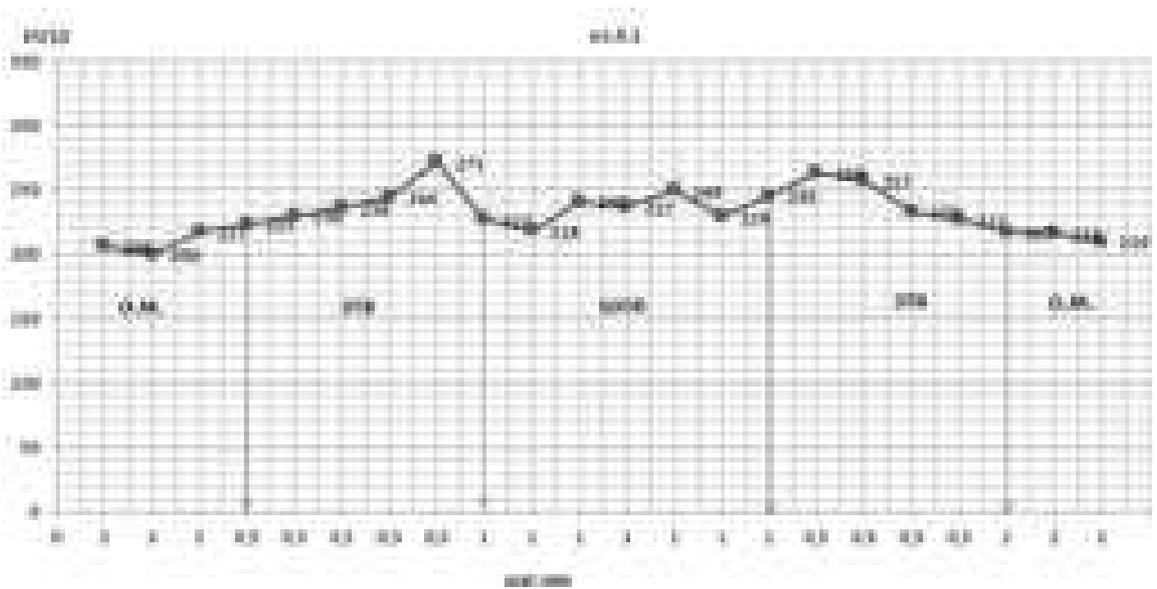


Рисунок 3.38 – График твердости темплета из образца №4.1

Образец с клеймом №5.1, сваренный на пониженной погонной энергии в цеховых условиях, изображён на рисунке 3.39.



Рисунок 3.39 – Темплеты, вырезанные из образца с клеймом № 5.1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.206.00 ПЗ

Лист

46

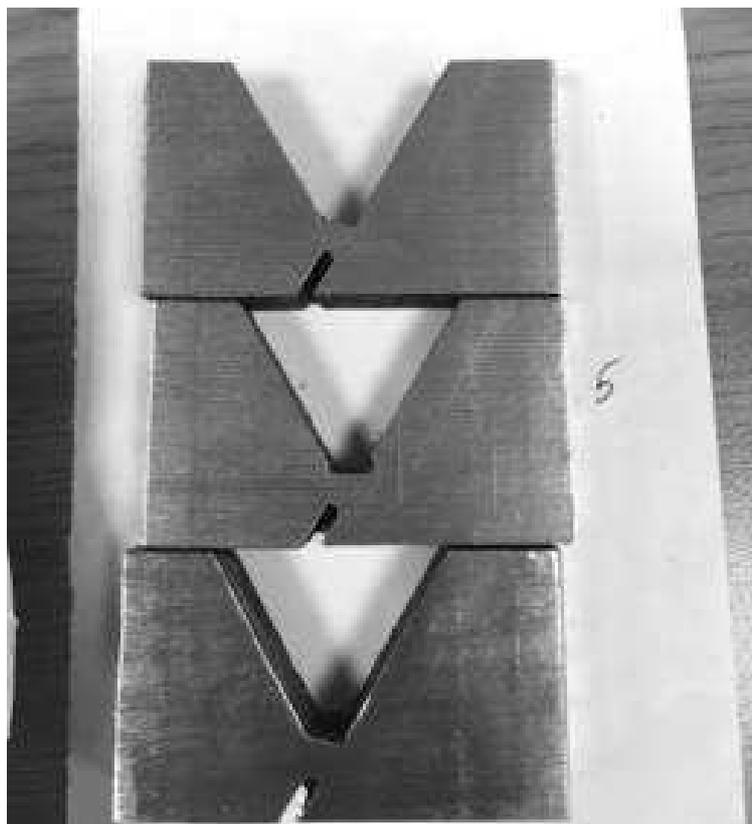


Рисунок 3.40 – Темплеты после шлифовки с клеймом № 5.1

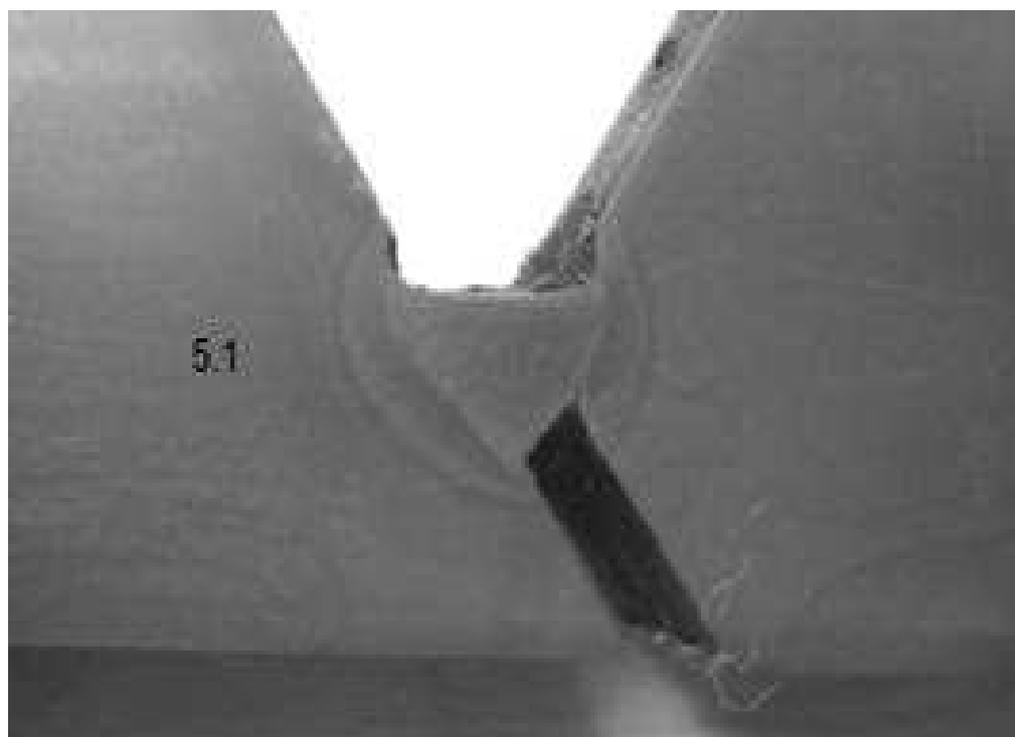


Рисунок 3.41 – Протравленный темплет (клеймо №5.1)

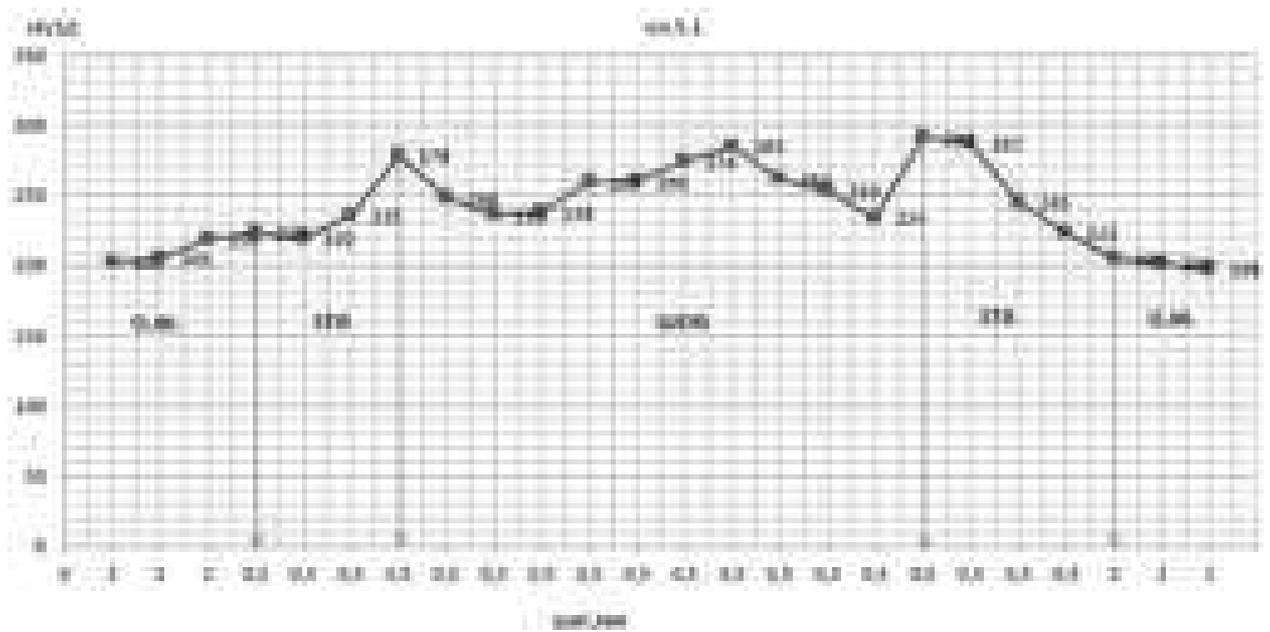


Рисунок 3.42 – График твердости темплета из образца №5.1

Образец с клеймом №6.1, сваренный на повышенной погонной энергии в цеховых условиях, изображён на рисунке 3.43.



Рисунок 3.43 – Темплеты, вырезанные из образца с клеймом № 6.1

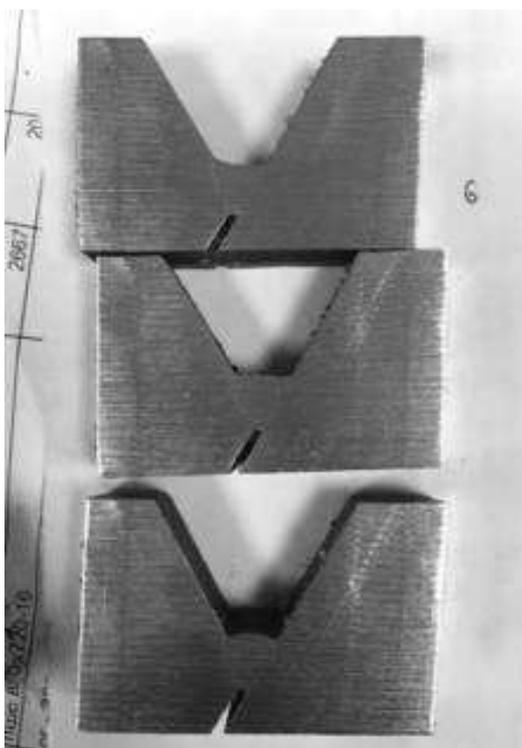


Рисунок 3.44 – Темплеты после шлифовки с клеймом № 6.1

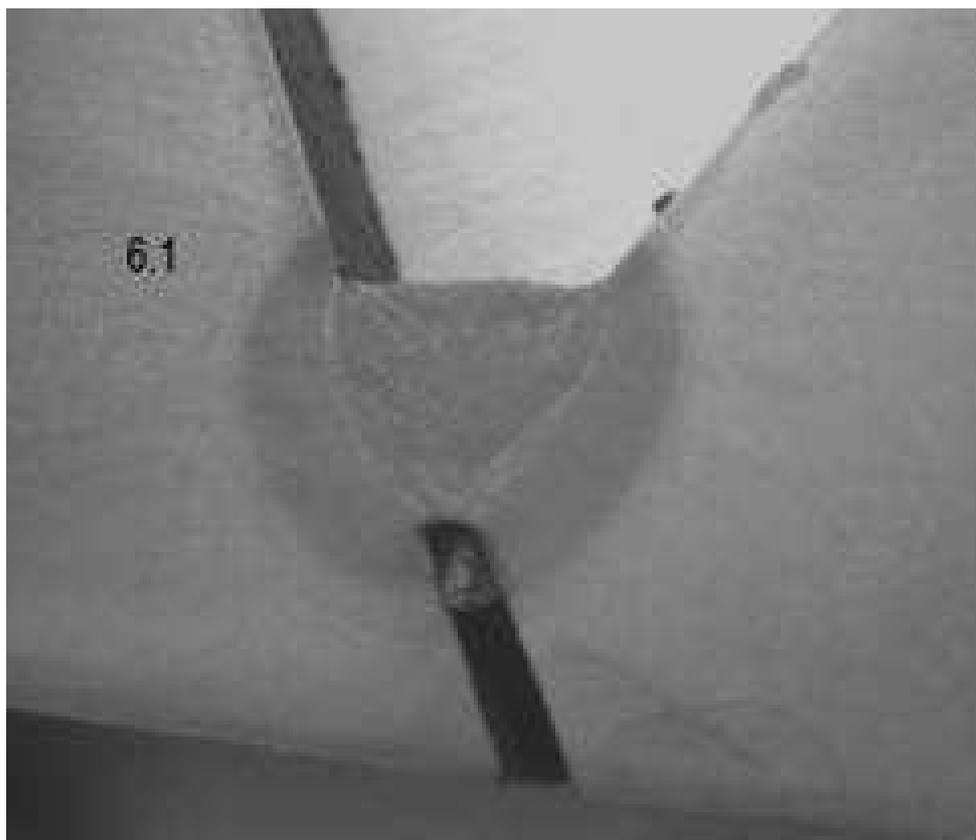


Рисунок 3.45 – Протравленный темплет (клеймо №6.1).

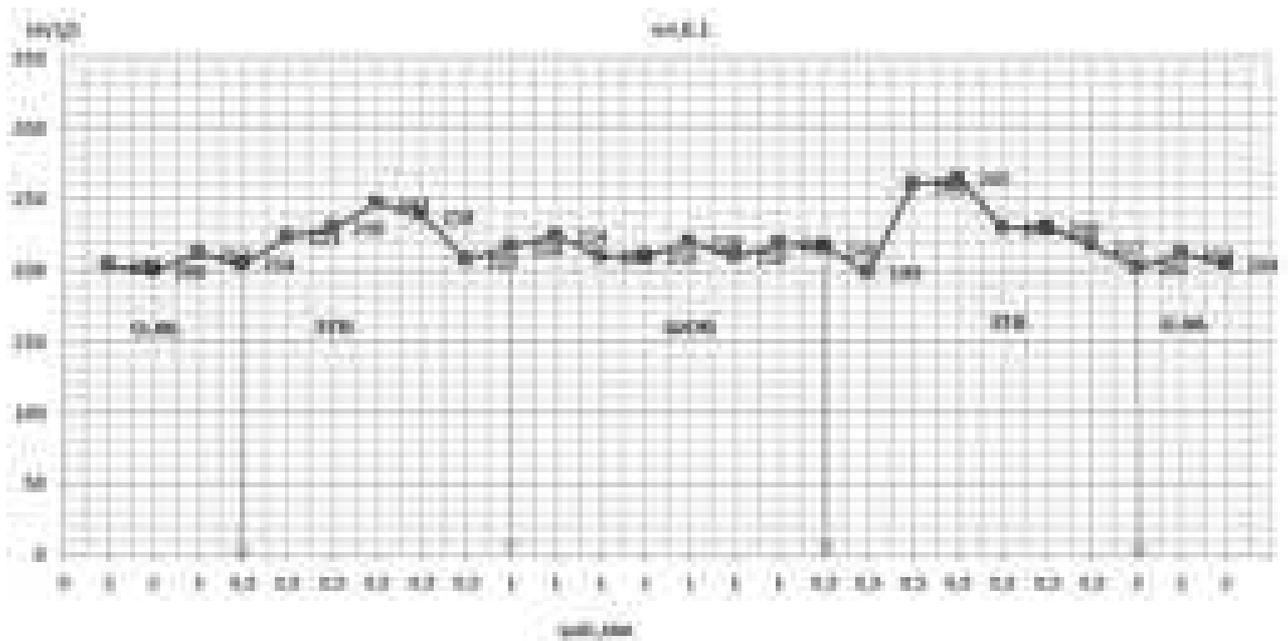


Рисунок 3.46 – График твердости темплета из образца №6.1

В процессе сварки были получены начальные данные по исследованию температурных полей при сварке с использованием промышленного тепловизора Fluke Ti32, как показано на рисунке 3.47.

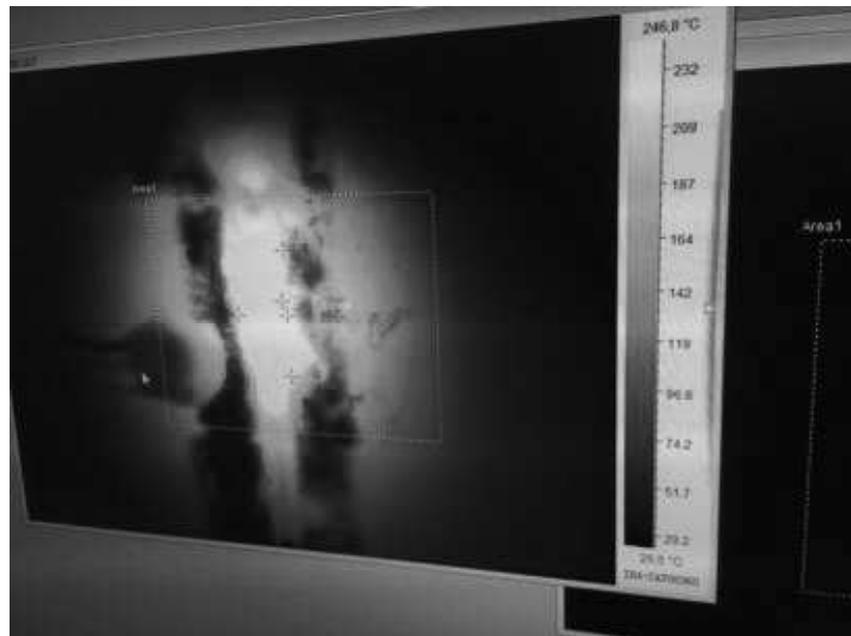


Рисунок 3.47 – Снимок с тепловизора при сварке образца с клеймом № 1
(maxT = 246,8°C)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.206.00 ПЗ

Лист

50

Так же на расстоянии 30 мм от центра корня шва на образцах с клеймами №1, 2 и 3 были установлены термодатчики и подключены к регистратору температуры. Регистратор температуры построил график скоростей нагрева и охлаждения, как приведено на рисунке 3.48.

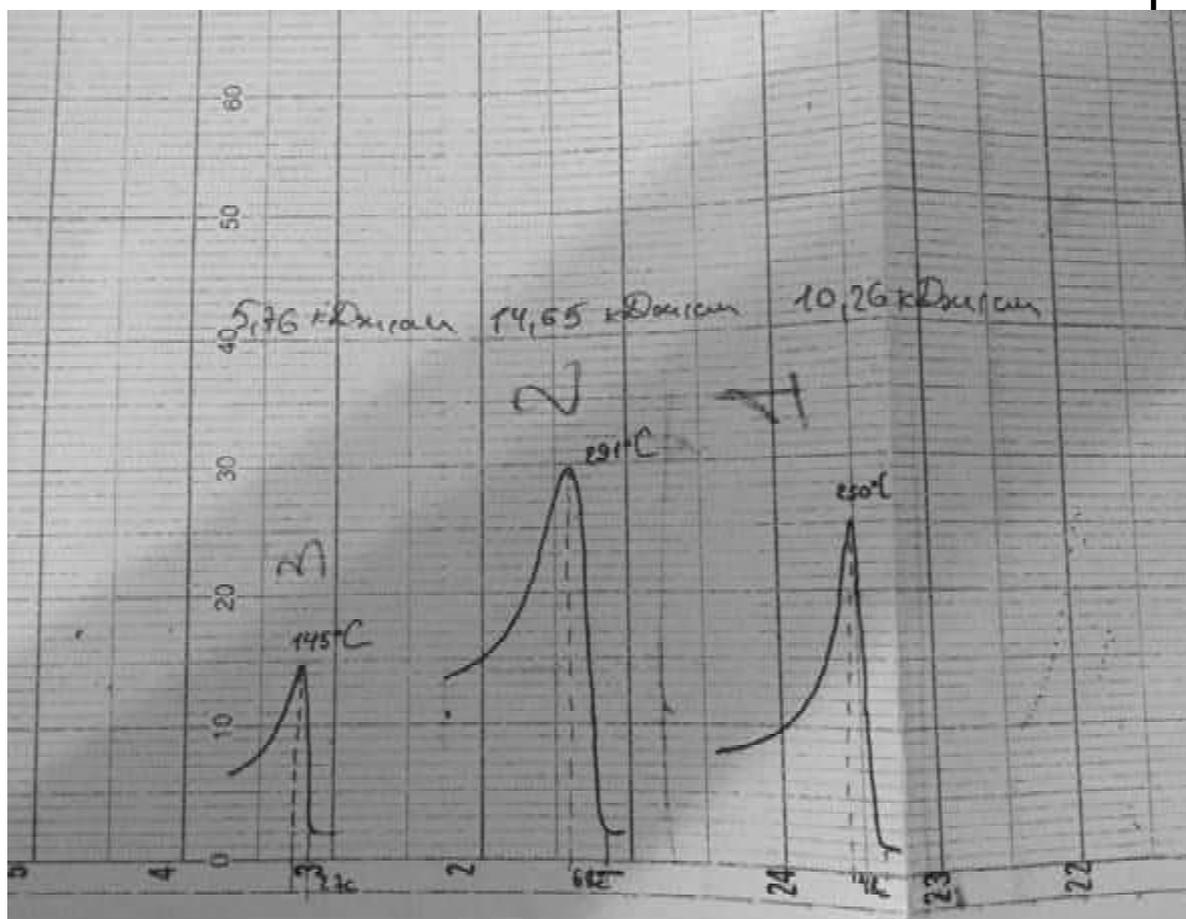


Рисунок 3.48 – График температур нагрева и охлаждения от времени

Анализируя 12 контрольных образцов делаю следующие выводы:

1. Клеймо №1. Сварка пластин толщиной 18 мм при температуре окружающего воздуха +20°C на «трассовом» режиме, т.е. скорость сварки была удобной и привычной для опытного сварщика. Величина погонной энергии 10,3 кДж/см.

Вывод: при данном режиме сварки не было выявлено трещин после сварки, значения твердости корня шва не имеют сильного разброса. Свариваемость – удовлетворительная.

2. Клеймо №2. Сварка пластин толщиной 18 мм при температуре окружающего воздуха +20°C на повышенной погонной энергии, т.е. скорость сварки была

занижена, сварщик медленно перемещал электрод, сплавляя кромки и перемешивая наплавленный металл. Величина погонной энергии 14,7 кДж/см.

Вывод: при данном режиме сварки не было выявлено трещин после сварки, значения твердости корня шва имеют небольшой разброс. Данный режим допустим для корня шва, однако повышенный расход электродов будет сказываться на экономическом эффект. Свариваемость – удовлетворительная.

3.Клеймо №3. Сварка пластин толщиной 18 мм при температуре окружающего воздуха +20°С на пониженной погонной энергии, т.е скорость сварки была высока и имело значение, которое недопустимо для квалифицированного сварщика, на кромках наблюдались несплавления. Величина погонной энергии 5,8 кДж/см.

Вывод: при данном режиме сварки после протравливания корня шва была выявлена трещина после сварки, значения твердости корня сильно разбросаны. Данный режим недопустим для сварки корня шва. Свариваемость – неудовлетворительная.

4.Клеймо №4. Сварка пластин толщиной 18 мм при температуре окружающего воздуха -20°С на «трассовом» режиме, т.е. скорость сварки была удобной и привычной для опытного сварщика. Величина погонной энергии 10,3 кДж/см.

Вывод: при данном режиме сварки после протравливания корня шва были выявлены трещины после сварки на 4-х из 5-ти темплатах. Данный режим недопустим для сварки корня шва. Свариваемость – неудовлетворительная.

5.Клеймо №5. Сварка пластин толщиной 18 мм при температуре окружающего воздуха -20°С на пониженной погонной энергии, т.е. скорость сварки была занижена, скорость сварки была высока и имело значение, которое недопустимо для квалифицированного сварщика, на кромках наблюдались несплавления. Величина погонной энергии 5,8 кДж/см.

Вывод: при данном режиме сварки после протравливания корня шва были выявлены трещины после сварки на всех темплатах. Данный режим недопустим для сварки корня шва. Свариваемость – неудовлетворительная.

6.Клеймо №6. Сварка пластин толщиной 18 мм при температуре окружающего воздуха -20°С на повышенной погонной энергии, т.е скорость сварки была

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

занижена, сварщик медленно перемещал электрод, сплавляя кромки и перемешивая наплавленный металл. Величина погонной энергии 14,7 кДж/см.

Вывод: при данном режиме сварки после протравливания корня шва не были выявлены трещины. Для допустимости применения данного режима необходим микроанализ структуры шва. Значения твердости имеют незначительный разброс.

7.Клеймо №1-1. Сварка пластин толщиной 36 мм при температуре окружающего воздуха -20°C на «трассовом» режиме, т.е. скорость сварки была удобной и привычной для опытного сварщика. Величина погонной энергии 10,3 кДж/см.

Вывод: при данном режиме сварки после протравливания корня шва была выявлена трещина после сварки, значения твердости корня сильно разбросаны. Данный режим недопустим для сварки корня шва. Свариваемость – неудовлетворительная.

8.Клеймо №2-1. Сварка пластин толщиной 36 мм при температуре окружающего воздуха -20°C на пониженной погонной энергии, т.е. скорость сварки была занижена, скорость сварки была высока и имело значение, которое недопустимо для квалифицированного сварщика, на кромках наблюдались несплавления. Величина погонной энергии 5,8 кДж/см.

Вывод: при данном режиме сварки после протравливания корня шва были выявлены трещины после сварки на всех темплетях. Данный режим недопустим для сварки корня шва. Свариваемость – неудовлетворительная.

9.Клеймо №3-1. Сварка пластин толщиной 36 мм при температуре окружающего воздуха -20°C на повышенной погонной энергии, т.е. скорость сварки была занижена, сварщик медленно перемещал электрод, сплавляя кромки и перемешивая наплавленный металл. Величина погонной энергии 14,7 кДж/см.

Вывод: при данном режиме сварки после протравливания корня шва не были выявлены трещины. Для допустимости применения данного режима необходим микроанализ структуры шва. Значения твердости имеют незначительный разброс.

10.Клеймо №4-1. Сварка пластин толщиной 36 мм при температуре окружающего воздуха +20°C на «трассовом» режиме, т.е. скорость сварки была удобной и привычной для опытного сварщика. Величина погонной энергии 10,3

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

кДж/см.

Вывод: при данном режиме сварки не было выявлено трещин после сварки, значения твердости корня шва не имеют сильного разброса. Свариваемость – удовлетворительная.

11.Клеймо №5-1. Сварка пластин толщиной 36 мм при температуре окружающего воздуха +20° на пониженной погонной энергии, т.е скорость сварки была высока и имело значение, которое недопустимо для квалифицированного сварщика, на кромках наблюдались несплавления. Величина погонной энергии 5,8 кДж/см.

Вывод: при данном режиме сварки после протравливания корня шва не было выявлено трещин после сварки, однако значения твердости корня шва сильно разбросаны, что указывает на неоднородные механические свойства именно корня шва. Данный режим неоднозначен для применения для данной толщины листа, необходимо исследование микроструктуры.

12.Клеймо №6. Сварка пластин толщиной 36 мм при температуре окружающего воздуха +20°С на повышенной погонной энергии, т.е скорость сварки была занижена, сварщик медленно перемещал электрод, сплавляя кромки и перемешивая наплавленный металл. Величина погонной энергии 14,7 кДж/см.

Вывод: при данном режиме сварки после протравливания корня шва не были выявлены трещины. Значения твердости имеют незначительный разброс. Свариваемость – удовлетворительная.

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Выводы по разделу

Подводя итог по оценке свариваемости стали 10Г2ФБЮ делаю вывод, что при соблюдении значений погонной энергии от 10,3 кДж/см при сварке корня шва пластин толщиной 18 мм и 36 мм при положительной температуре получим удовлетворительную свариваемость. На пониженной погонной энергии при сварке корня шва пластины толщиной 18 мм наблюдалась трещина, данный режим для сварки не подходит.

При сварке корня шва при отрицательной температуре свариваемость стали 10Г2ФБЮ неудовлетворительная, образуются холодные трещины. Однако стоит отметить, что при сварке корня шва пластин толщиной 18 мм и 36 мм на повышенной погонной энергии, равной 14,7 кДж/см, трещины не образуются. Вопрос свариваемости в данном случае неоднозначен и требует изучения микроструктуры корня шва и определения его механических свойств.

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе была оценена свариваемость стали марки 10Г2ФБЮ.

Основной материал был проанализирован с точки зрения свариваемости. Режимы сварки, сварочные материалы были взяты из нормативного документа для изготовления СДТ согласно СТО Газпром 2-2.2-136-2007.

В результате проделанной работы, подобраны оптимальные режимы для сварки корня шва, обеспечивающие качественный сварной шов.

Главным выводом работы считаю следующее – предварительный подогрев при сварке соединительных деталей трубопроводов в цеховых условиях нецелесообразен. Проведенные испытания подтверждают обоснованность этого утверждения.

Для сварки соединительных деталей трубопроводов в полевых условиях, где температура окружающего воздуха имеет отрицательные значения, предварительный подогрев необходим для обеспечения качественно сварного шва без дефектов, что также подтверждено экспериментально.

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.ГОСТ 26388-84. Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивляемость образованию холодных трещин при сварке плавлением.
- 2.Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. – М.:Машиностроение, 1981. – 247 с.
- 3.Гривняк И. Свариваемость сталей: Пер. со словац. Л.С. Гончаренко; Под редю Э.Л. Макарова. – М.: Машиностроение, 1984. – 216 с.
- 4.Шоршоров М.Х., Чернышова Т.А., Красовский А.И. Испытания металлов на свариваемость. - М.: Металлургия, 1972. - 240 с
- 5.Шолохов М.А., Куркин А.С., Полосков С.И. Влияние формы разделки на остаточные напряжения в корпусных конструкциях специальной техники //Известия ТулГУ. Технические науки, № 6. Ч. 2, 2015.
- 6.Уланов А.М., Иванов М.А. Современный подход к разработке технологических параметров сварки в производстве труб большого диаметра // Вестник ЮУрГУ, № 39, 2012.
- 7.СТО Газпром 2-2.2-136-2007. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. Часть I.
- 8.Золоторевский, В.С. Мехнические испытания и свойства металлов. Учебное пособие. / В.С. Золоторевский. – М.: Металлургия, 1974. – 304 с.[1]
- 9.Прохоров, Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке / Н.Н. Прохоров. – М.: Металлургиздат, 1976. – Т. 2. – 599 с.
- 10.Бочвар, А.А. Металловедение. Учебник для вузов. / А.А. Бочвар, 5-е издание. – М.: Металлургиздарт, 1956. – 724 с.
- 11.М.А. Ivanov, V.I. Shvetsov, E.L. Volosatova, D.V. Izotov: ‘The development of the theory of crack resistance of castings’, BULLETIN OF SOUTH URAL STATE UNIVERSITY. SERIES: METALLURGY. VOL. 17, No 36, pp. 48–50, 2011.
12. М.А. Иванов, А.Г, АльРухайми. Анализ трещиноустойчивости пробы «Тэккен». ЮУрГУ, г. Челябинск. – Научная статья.

										Лист
										57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.206.00 ПЗ					

ПРИЛОЖЕНИЯ

					15.04.01.2018.206.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58