

Особенности квалификации сварочных процедур при строительстве узла подготовки газа к транспорту КС "Портовая" СЕГ

Н.Г. Блехерова, к.т.н. (ООО «НИПИСтройТЭК»)

А.П. Ладыжанский (ООО «НИПИСтройТЭК»)

А.А. Сажеев, к.т.н. (ООО «НИПИСтройТЭК»)

Е.М. Вышемирский, к.т.н. (ОАО «Газпром»)

Узел подготовки газа к транспорту КС "Портовая" СЕГ

- Рабочее давление – 9,8 МПа
- Диаметр трубной обвязки – от 21,3 до 1422,4 мм
- Толщины стенок трубной обвязки – от 3,7 до 31,8 мм
- Применяемые трубы – из низкоуглеродистых и нержавеющей сталей с нормативным значением временного сопротивления разрыву до 565 МПа включительно
- Количество сварных соединений – более 46 000 шт.

Узел подготовки газа к транспорту

КС "Портовая" СЕГ

- **Заказчик проекта – ООО «Газпром инвест Запад».**
- **Проектная организация – Siirtec Nigi (Италия).**
- **Поставщик - Siirtec Nigi (Италия).**
- **Генподрядчик – ООО «Стройгазконсалтинг».**
- **Разработчик сварочных технологий – ООО «НИПИСтройТЭК».**
- **Производственная база для предварительных и квалификационных испытаний технологий сварки – филиал ЗАО «Аргус Пайплайн Сервис» (г. Гагарин Смоленской области), производственная площадка ООО «Стройгазконсалтинг» (г. Выборг).**

Нормативный документ для строительства УПГТ КС "Портовая" СЕГ

- Технологическая инструкция по сварке и неразрушающему контролю обвязочных трубопроводов установки подготовки газа к транспорту (УПГТ) КС «Портовая»

Разработчик - ООО «НИПИСтройТЭК».

Зарубежная нормативно – техническая документация по сварке и НК

- **ASME B31.3 – 2002.** Система технологических трубопроводов;
- **ASME B31.8 – 2007.** Трубопроводные системы для транспортировки и распределения газа;
- **A94001-000-000-A-000A-QS-0007.** Технические условия на сварку труб из углеродистой стали;
- **A94001-000-000-A-000A-QS-0008.** Технические условия на сварку труб из аустенитной нержавеющей стали;
- **A94001-000-000-A-000A-QS-0005.** Руководство по контролю качества для предварительного изготовления и монтажа трубопроводов;
- **A94001-000-000-A-000A-QS-0020.** Проверочные таблицы для неразрушающего контроля.

Отечественная нормативно – техническая документация по сварке и НК

- **СТО Газпром 2–2.2–136–2007.** Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов. Часть I;
- **СТО Газпром 2–2.2–115–2007.** Инструкция по сварке магистральных газопроводов с рабочим давлением до 9,8 МПа включительно;
- **СТО Газпром 2-2.4-083-2006.** Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов.

Требования к механическим свойствам сварных соединений магистрального газопровода

Наименование показателя	Значение показателя согласно требованиям УПГТ КС “Портовая”
Предел прочности	не ниже нормативного значения временного сопротивления основного металла труб в продольном направлении
Угол загиба	180 град.
Твердость по Виккерсу (HV10)	250 для сталей класса прочности до К54 260 для нижних слоев шва и 280 для верхних слоев шва для сталей класса прочности от К54
Поглощенная энергия удара на образцах Шарпи при $T_{исп.} = \text{минус } 40 \text{ } ^\circ\text{C}$	≥ 50 Дж – среднее значение $\geq 37,5$ Дж – минимальное значение для одного образца
Макроструктура шва (анализ макрошлифов)	Отсутствие недопустимых наружных и внутренних дефектов

Требования к механическим свойствам сварных соединений магистрального газопровода

- **обеспечение высокого значения ударной вязкости при температуре испытаний минус 40 °С сварных соединений из низкоуглеродистых сталей с пределом прочности до К54;**
- **обеспечение регламентируемых значений твердости металла шва и ЗТВ при применении технологий сварки, не предусматривающих послесварочной термической обработки;**
- **повышенные требования к качеству формирования корня шва;**
- **минимизация внутреннего загрязнения трубной обвязки шлаком и металлическими брызгами.**

Этапы подготовки сварочных процедур, проведения предварительных и квалификационных испытаний технологий сварки

№ п/п	Наименование этапа работ
1	Выбор базовых способов сварки и сварочных материалов
2	Разработка предварительных сварочных процедур для выполнения тестовых сварных соединений
3	Сварка, неразрушающий контроль и механические испытания тестовых швов.
4	Разработка процедур сварки (pWPS) для квалификационных испытаний
5	Квалификационные испытания сварочных технологий (сварка КСС с регистрацией параметров режима, неразрушающий контроль и механические испытания)
6	Оформление отчетов о квалификационных испытаниях процедур сварки и протоколов механических испытаний сварных соединений
7	Разработка и передача Заказчику утвержденных процедур сварки (WPS) для выполнения стыков УПГТ КС “Портовая”

Перечень предлагаемых технологий сварки

- **РАД** – ручная аргодуговая сварка.
Применялась для сварки стыков диаметром до 114,3 мм включительно;
- **РАД+РД** – ручная аргодуговая сварка корневого слоя шва и ручная дуговая сварка электродами с основным видом покрытия заполняющих и облицовочного слоев шва.
Применялась для стыков из нержавеющей стали диаметром свыше 114,3 мм и стыков из низкоуглеродистых сталей диаметром свыше 114,3 мм до 273,1 мм включительно;
- **РД** – Ручная дуговая сварка электродами с основным видом покрытия (все слои шва).
Применялась для сварки стыков из низкоуглеродистых сталей диаметром свыше 273,1 мм;
- **МП + РД** – Механизированная сварка корневого слоя шва в среде углекислого газа методом STT + РД последующих слоев шва.
Применялась для сварки стыков из низкоуглеродистых сталей диаметром 508 мм и выше;
- **РД+МПИ** – РД корневого слоя шва + механизированная сварка порошковой проволокой в среде инертных газов и смесях.
Применялась для сварки в поворотном положении при укрупнении стыков из низкоуглеродистых сталей диаметром 323,8мм и выше и толщиной стенки более 9,0 мм;
- **РД+АПИ** – РД корневого слоя шва + автоматическая сварка порошковой проволокой в среде инертных газов и смесях головками М-300С последующих слоев шва.
Применялась для сварки стыков из низкоуглеродистых сталей диаметром 457,2 мм и выше и толщиной стенки более 9,0 мм;
- **МП+АПИ** – Механизированная сварка корневого слоя шва в среде углекислого газа методом STT + автоматическая сварка порошковой проволокой в среде инертных газов и смесях головками М-300С последующих слоев шва.
Применялась для сварки стыков из низкоуглеродистых сталей диаметром 508 мм и выше.

Перечень рекомендованных сварочных материалов для труб из низкоуглеродистых сталей

Метод сварки	Применяемый сварочный материал	Область применения
РД	OK 53.70 и Fox EV Pipe, диаметром 2,5 и 3,2 мм	Корневой и подварочный слой шва
РД	OK 48.08, диаметром 2,5 и 3,2 мм	Заполняющие и облицовочный слой шва, стали класса прочности до K54 вкл.
РД	Fox EV 65 и Pipeliner 18P, диаметром 2,5 и 3,2 мм	Заполняющие и облицовочный слой шва, стали класса прочности от K54
РАД	OK Autrod 13.23, диаметром 2,0 и 2,4 мм	Все слои шва
МП	Super Arc L-56 диаметром 1,14 мм	Корневой слой шва
МПИ АПИ	OK Tubrod 15.17 диаметром 1,2 мм	Заполняющие и облицовочный слой шва, стали класса прочности до K54 вкл.

Перечень рекомендованных сварочных материалов для труб из нержавеющей сталей

Метод сварки	Применяемый сварочный материал	Область применения
РАД	OK Tigrod 308LSi, диаметром 2,0 и 2,4 мм	Все слои шва
РД	OK 61.35, диаметром 2,5 и 3,2 мм	Заполняющие и облицовочный слои шва

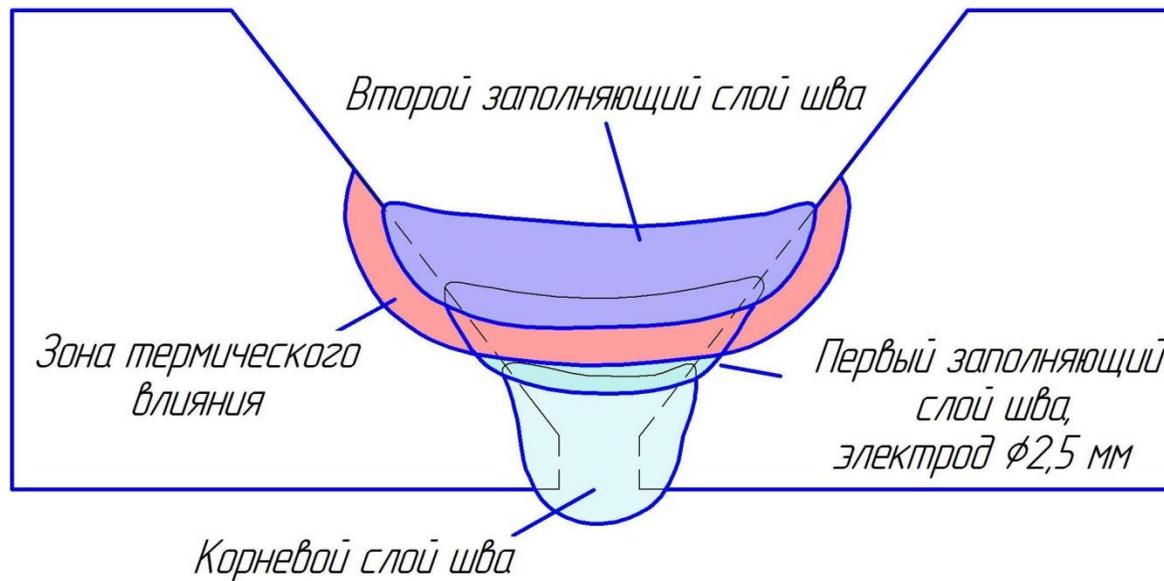
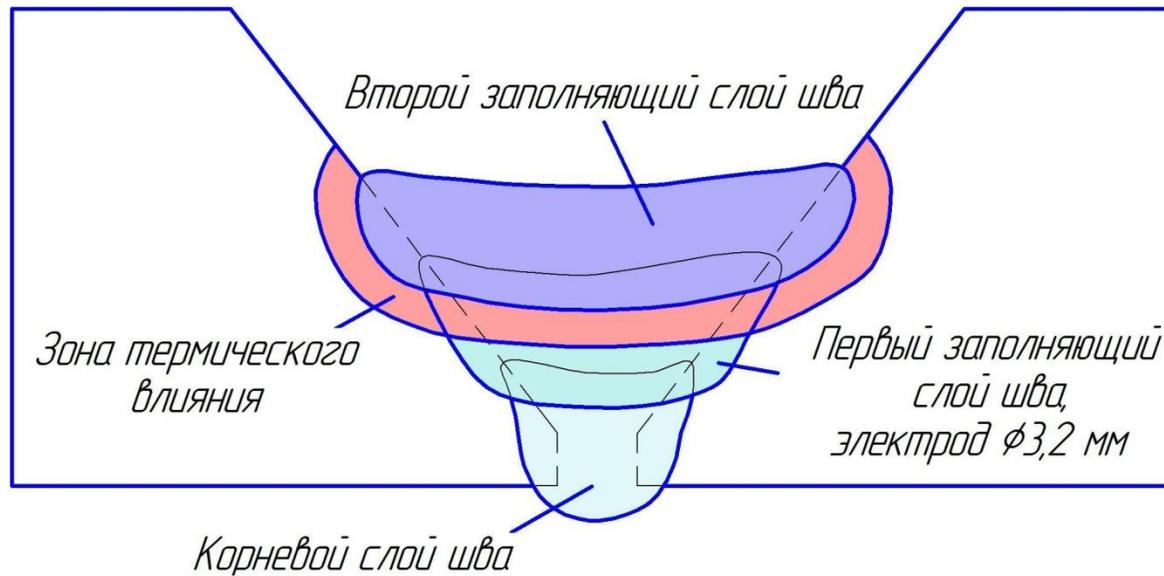
Предварительные испытания

1. Ручная дуговая сварка.
2. Свариваемые материалы: сталь А 671 СС 70 с1. 22
3. Послесварочная термическая обработка: отсутствует.

Несоответствие НД: низкие значения ударной вязкости, полученные на образцах, вырезанных из корневой части сварного соединения по центру шва (металл шва).

Номер образца	Температура испытаний, °С	Место нанесения надреза	Поглощенная энергия, Дж	Ударная вязкость, Дж/см ²	Среднее значение ударной вязкости, Дж/см ²
<i>Образцы из нижних слоев сварного соединения</i>					
КСС-5Н-4	-40	<i>Шов</i>	27,9	34,9	42,8
КСС-5Н-5	-40	<i>Шов</i>	48,7	60,9	
КСС-5Н-6	-40	<i>Шов</i>	26	32,5	

Предварительные испытания



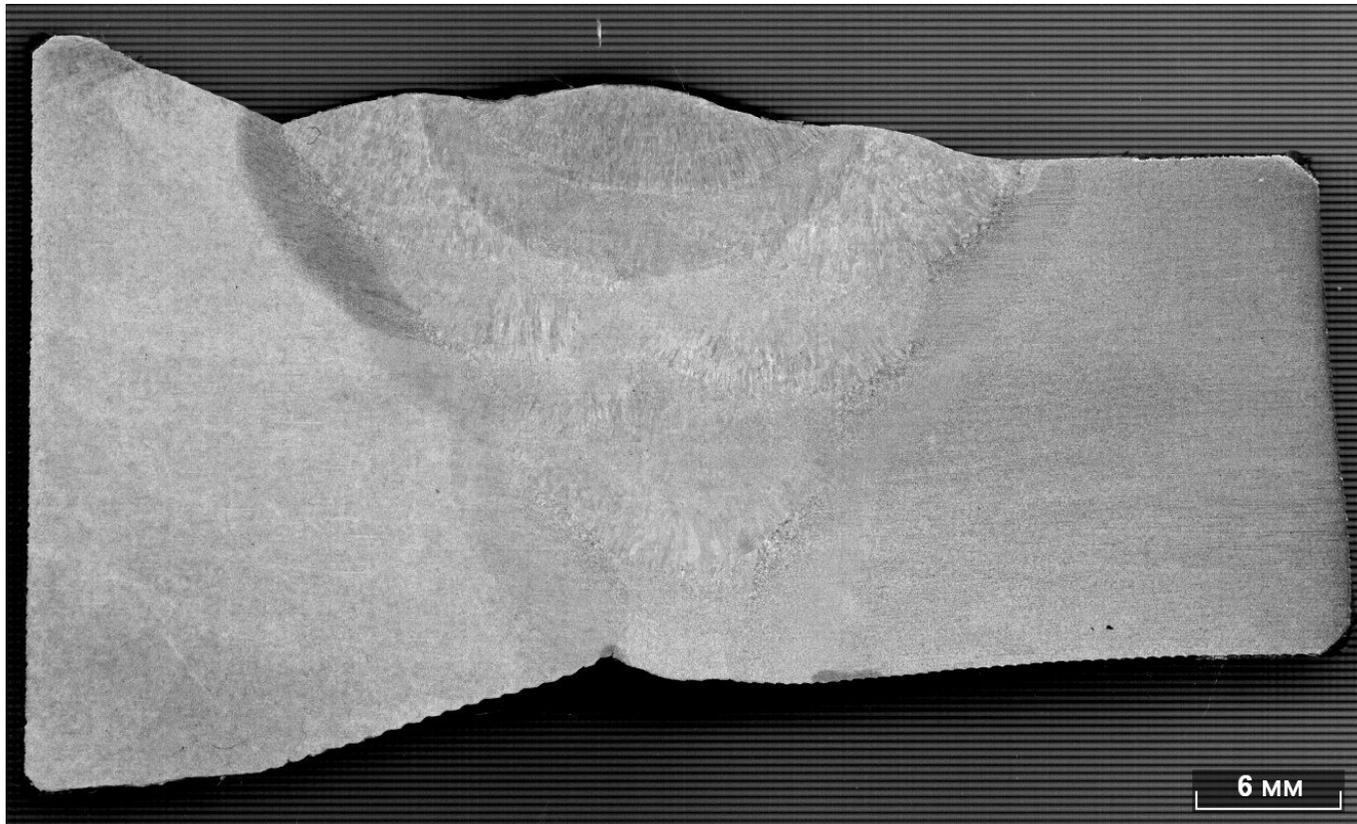
Предварительные испытания

Предложенное решение. Для первого заполняющего валика применять электроды только диаметром 2,5 мм и ограничить погонную энергию при сварке.

<i>Технология сварки, ТД</i>		РД, пСПС (pWPS) № ZGS-000-pWPS-0007 Rev.1/Ред.1			
<i>Номер контрольного сварного соединения</i>		№ WPS-0007			
<i>Основной металл</i>		Труба Ø508x19,05 мм из стали А 671 СС60 cl.22 + труба Ø508x19,05 мм из стали А860 WPHY60			
<i>Сварочный материал</i>		Корневой слой шва – электроды марки ОК 53.70 Ø2,5 мм, 1-ый заполняющий слой шва - электроды марки ОК 48.08 Ø2,5 мм заполняющие и облицовочный слой шва – электроды марки ОК 48.08 Ø3,2 мм			
Номер образца	Температура испытаний, °С	Место нанесения надреза	Поглощенная энергия, Дж	Ударная вязкость, Дж/см ²	Среднее значение ударной вязкости, Дж/см ²
Образцы из нижних слоев сварного соединения					
КСС-7Н-4	-40	Шов	38,7	48,4	50,3
КСС-7Н-5	-40	Шов	39,4	49,3	
КСС-7Н-6	-40	Шов	42,6	53,3	

Предварительные испытания

Предложенное решение. Для первого заполняющего валика применять электроды только диаметром 2,5 мм и ограничить погонную энергию при сварке.



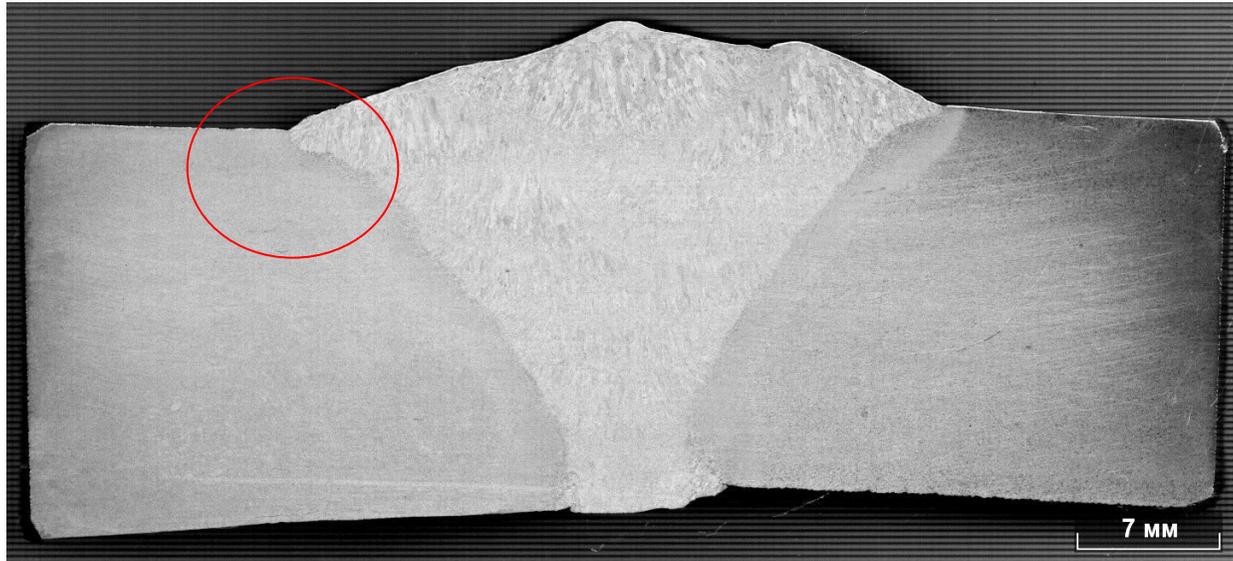
Предварительные испытания

1. Сварка по комбинированной технологии: МП+АПИ (сварочные головки М-300С).
2. Свариваемые материалы: сталь А 671 СС 70 с1. 22.
3. Послесварочная термическая обработка: отсутствует.

Несоответствие НД: значения твердости в ЗТВ достигали значений 305 НV (допустимое значение для ЗТВ – 250 НV), причем эти значения были получены в ЗТВ со стороны выполнения последнего валика облицовочного слоя шва.

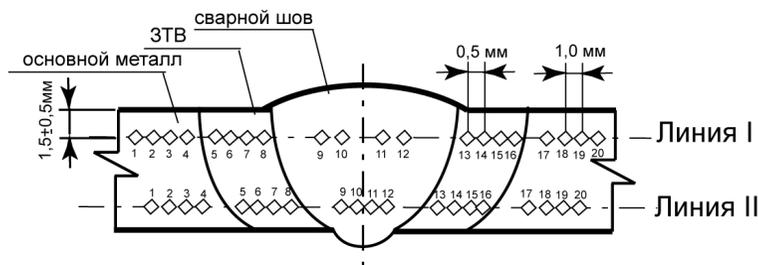
Предварительные испытания

1. Сварка по комбинированной технологии: МП+АПИ (сварочные головки М-300С).
2. Свариваемые материалы: сталь А 671 СС 70 сл. 22.
3. Послесварочная термическая обработка: отсутствует.



Предварительные испытания

1. Сварка по комбинированной технологии: МП+АПИ, РД+АПИ (сварочные головки М-300С), РД+МПИ.
2. Свариваемые материалы: сталь А 671 СС 70 с1. 22.
3. Послесварочная термическая обработка: отсутствует.



Линия измерения твердости	Значения твердости, HV_{10} в точках замера и зонах сварного соединения*																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	ЗТВ	ЗТВ	ЗТВ	ЗТВ	МШ	МШ	МШ	МШ	ЗТВ	ЗТВ	ЗТВ	ЗТВ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ
I	169	170	174	175	209	233	271	303	203	235	227	216	254	249	219	212	207	208	213	206
II	174	177	171	171	197	198	213	232	207	209	205	207	247	248	248	238	211	212	215	214

* - ОМ - основной металл; ЗТВ - зона термического влияния; МШ - металл сварного шва;

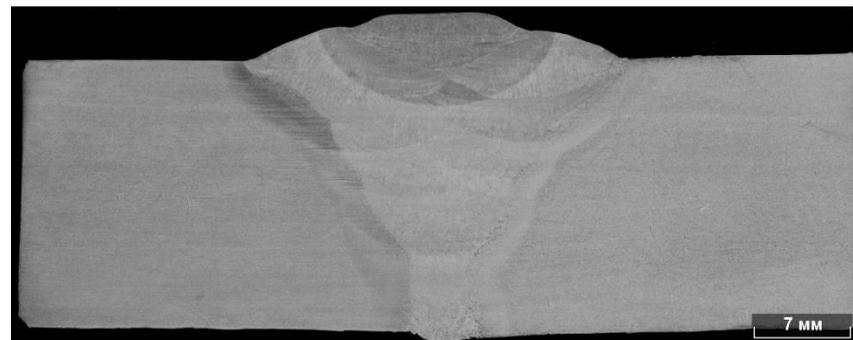
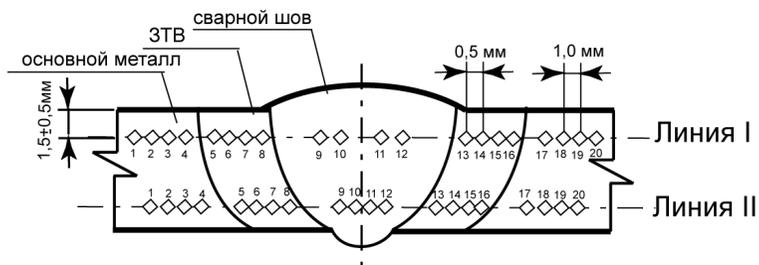
Предварительные испытания

Предложенное решение.

1. Изменить порядок наложения валиков в облицовочном слое шва – сначала выполняют валики, расположенные по краям, а потом выполняют валик (валики), расположенный по центру шва.
2. Ввести дополнительный контроль межслойной температуры перед сваркой облицовочного слоя шва и, в случае необходимости при остывании стыка ниже 100 °С, применить сопутствующий подогрев до температуры 100+30 °С.

Предварительные испытания

Технология сварки, ТД	РД + АПИ, пСПС (pWPS) № ZGS-000-pWPS-0046 Rev.1/Ред.1
Номер контрольного сварного соединения	№ WPS-0046
Основной металл	Труба Ø508,0x19,05 мм из стали А 671 СС60 cl.22 + труба Ø508,0x19,05 мм из стали А 671 СС70 cl.22
Сварочный материал	Корневой слой шва – электроды марки ОК 53.70 Ø2,5 мм, Заполняющие и облицовочный слои шва – порошковая проволока марки ОК Tubrod 15.17 Ø1,2 мм + защитный газ 80%Ar+20%CO ₂



Линия измерения твердости	Значения твердости, HV ₁₀ в точках замера и зонах сварного соединения*																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	ЗТВ	ЗТВ	ЗТВ	ЗТВ	МШ				ЗТВ	ЗТВ	ЗТВ	ЗТВ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ
I	164	168	168	167	227	248	249	236	209	200	205	213	158	166	164	170	152	154	147	153
II	161	157	162	163	173	177	183	169	157	165	164	159	150	146	148	160	137	132	130	130

* - ОМ - основной металл; ЗТВ - зона термического влияния; МШ - металл сварного шва;

Предварительные испытания

1. Сварка по комбинированной технологии: РАД+РД.
2. Свариваемые материалы: сталь А312 Тр 304 (нержавеющая сталь).
3. Послесварочная термическая обработка: отсутствует.

Несоответствие НД: затруднено формирование поверхности шва (поверхность грубая, с резкой чешуйчатостью и нестабильностью по высоте – специфика применяемого сварочного материала), а применение повышенных режимов сварки приводит к перегреву стыка и вынужденным перерывам в работе.

Предварительные испытания

Предложенное решение.

Для устранения наружных дефектов и сглаживания поверхности облицовочного слоя шва в случае необходимости применять ручную аргонодуговую обработку облицовочного слоя по режимам сварки корневого слоя шва без присадки. В случае необходимости допускается применение в качестве присадочного материала прутков ОК Tigrod 308LSi Ø 2,0 мм (по химсоставу практически идентичные электродам ОК 61.35).

Предварительные испытания



РАД+РД



РАД+РД+РАД

Сочетания сталей для проведения квалификационных испытаний

- Для низкоуглеродистых сталей класса прочности до K54 включительно:

A 671 CC 60 cl. 22 (труба) + A 671 CC 70 cl. 22 (труба);

A 671 CC 60 cl. 22 (труба) + A 860 WPHY 60 (фитинг).

- Для низкоуглеродистых сталей класса прочности выше K54 включительно:

API 5L X70 (труба) + A 671 CC 70 cl. 22 (труба);

API 5L X70 (труба) + A 694 F70 (фитинг);

A 671 CC 60 cl. 22 (труба) + A 860 WPHY 70 (фитинг).

Сочетания сталей для проведения квалификационных испытаний

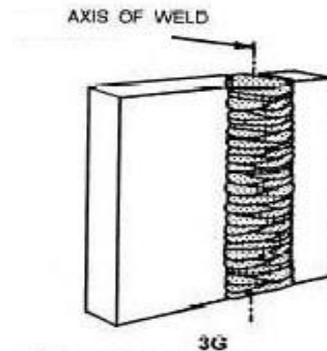
- Для аустенитных сталей:

A312 Тр 304L (труба) + A312 Тр 304L (труба).

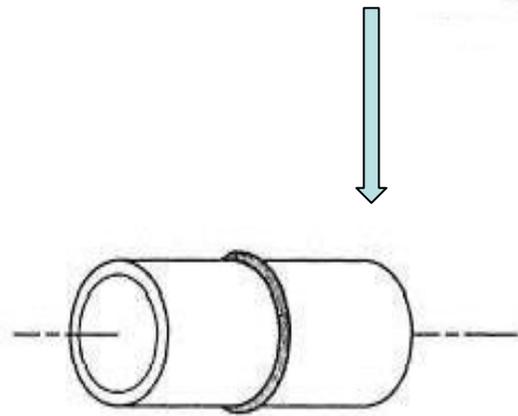
Объем квалификационных испытаний

- 41 предварительная процедура сварки (pWPS), включая неразрушающий контроль (ВИК, РК, УЗК, ПВК) и весь комплекс механических испытаний.
- Из них:
- 22 процедуры по сварке стыковых сварных соединений без термообработки;
- 14 процедур по сварке стыковых сварных соединений с термообработкой;
- 5 процедур по сварке тройниковых соединений.

Квалификационные испытания

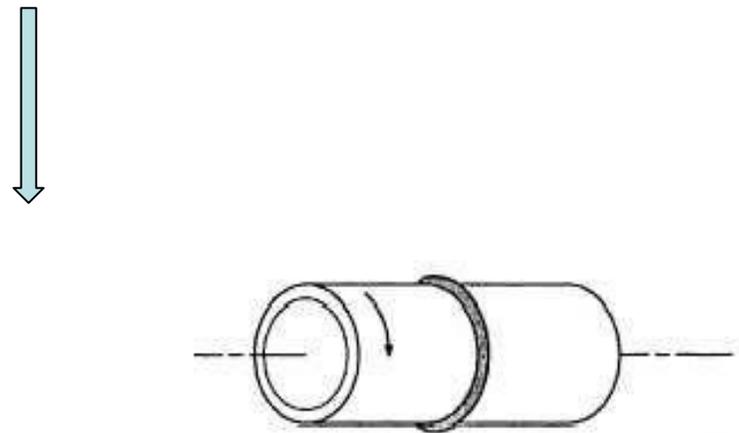


Сварка пластин в положении 3G
(требования ASME)



5G HORIZONTAL FIXED POSITION

Положение для квалификации всех технологий
(кроме РД+МПИ)



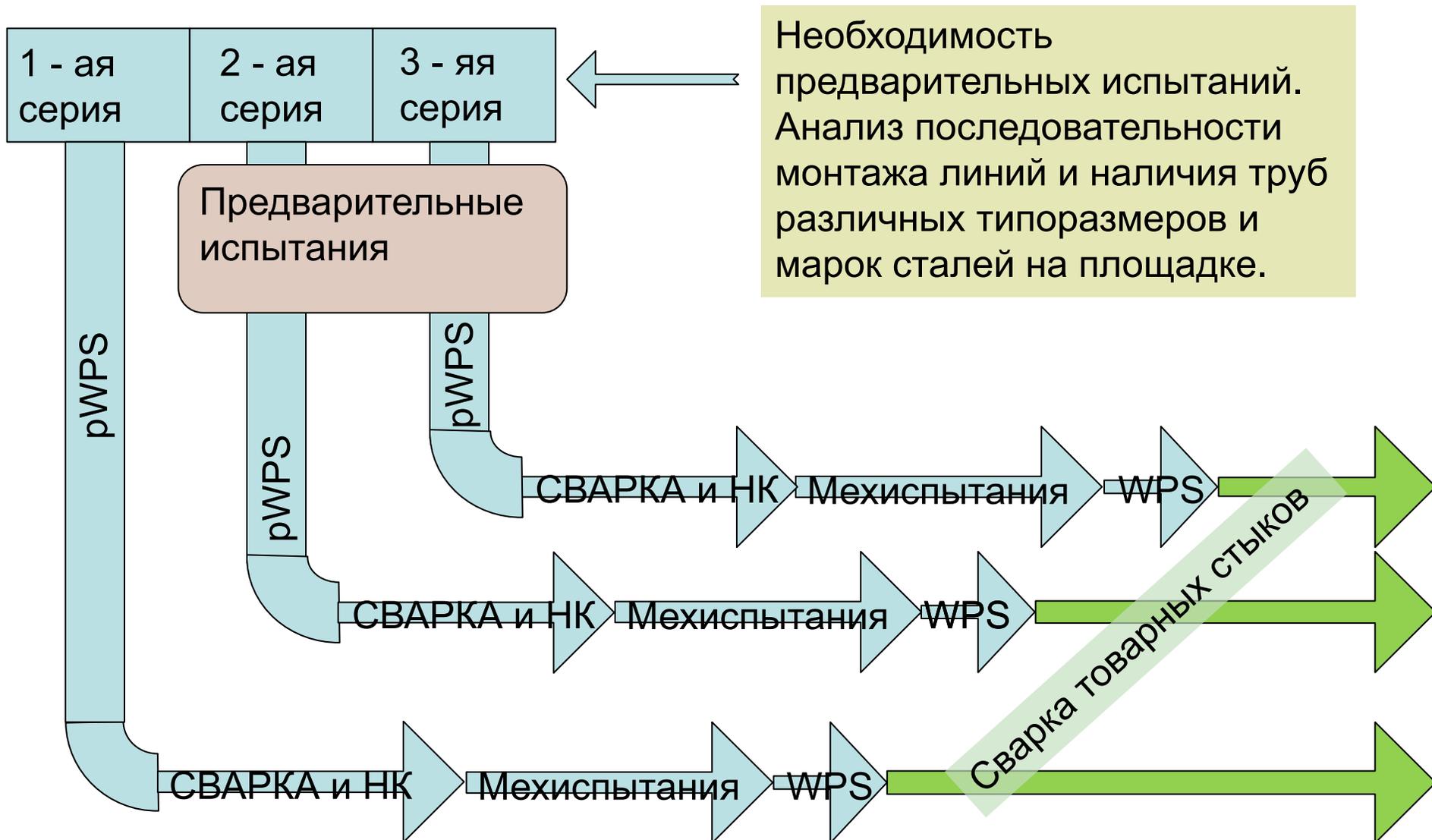
1G HORIZONTAL ROLLED POSITION

Положение для квалификации
Технологии РД+МПИ

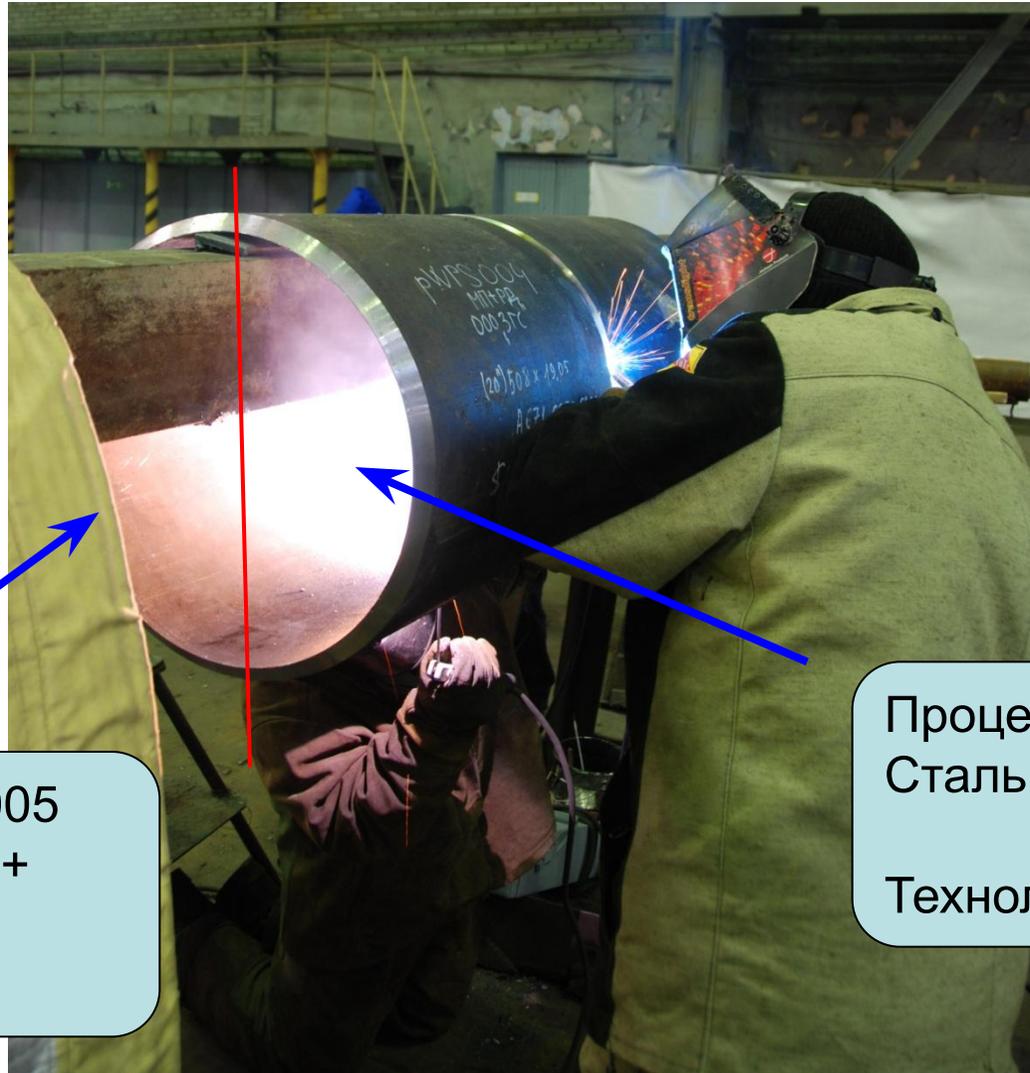
Квалификационные испытания



Схема проведения квалификационных испытаний



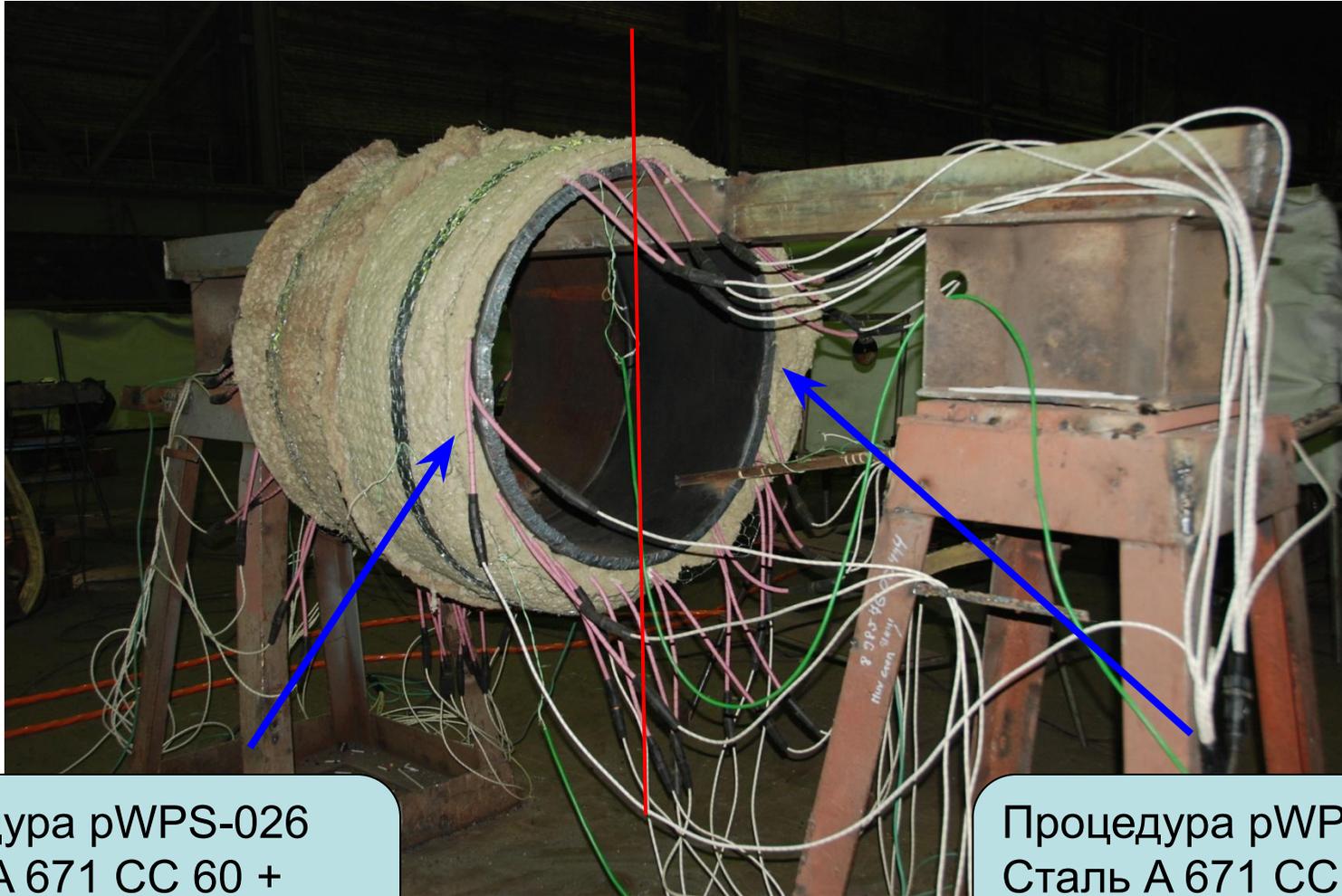
Квалификационные испытания



Процедура pWPS-005
Сталь А 671 СС 60 +
А 671 СС 70
Технология: РД

Процедура pWPS-004
Сталь А 671 СС 60 +
А 671 СС 70
Технология: МП + РД

Квалификационные испытания

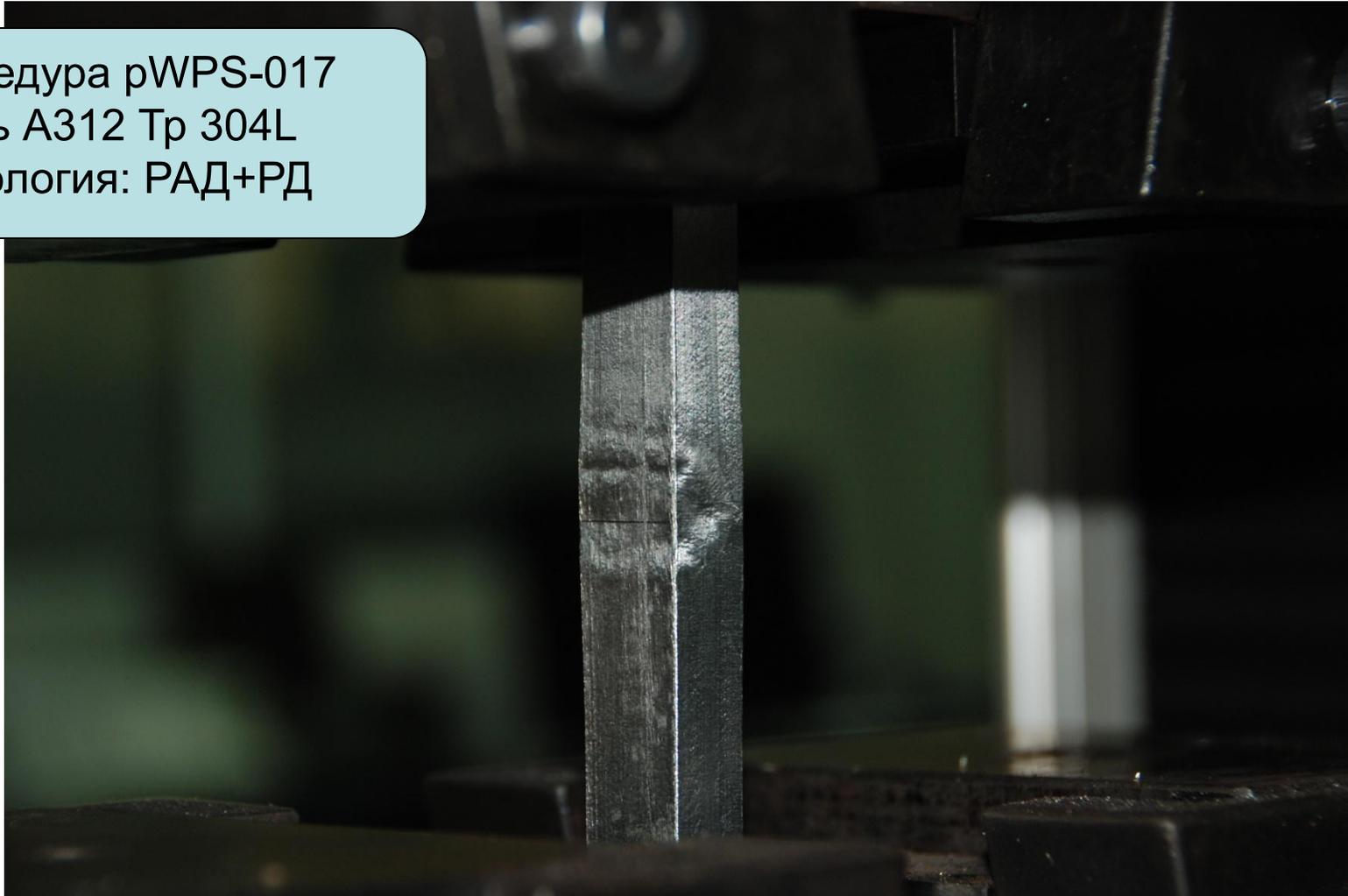


Процедура pWPS-026
Сталь А 671 СС 60 +
А860 WPHY60
Технология: РД

Процедура pWPS-025
Сталь А 671 СС 60 +
А860 WPHY60
Технология: МП + РД

Испытания разрывного образца, испытательная лаборатория ООО “НИПИСтройТЭК” (3-ья серия квалификационных испытаний)

Процедура pWPS-017
Сталь А312 Тр 304L
Технология: РАД+РД



**Испытания загибных образцов, испытательная лаборатория ООО “НИПИСтройТЭК”
(2-ая серия квалификационных испытаний)**



Выводы

- Проведение предквалификационных испытаний технологий сварки позволило на начальном этапе внести необходимые коррективы в технологии, предлагаемые к применению, и подготовить предварительные процедур сварки (pWPS) так, что по результатам квалификационных испытаний количество изменений, вносимых в окончательные процедуры сварки, была минимальной.
- Применение предварительного логистического анализа позволило провести оптимизацию сроков проведения квалификации процедур сварки без ущерба для выполнения товарных стыков УПГТ КС “Портовая” и значительно сократить трудозатраты подрядчиков при ее проведении.
- Проведенные квалификационные испытания сварочных процедур при строительстве УПГТ КС “Портовая” подтвердили правильность принятых технологических решений, высокие квалификацию персонала и уровень технического оснащения подрядчиков, что в свою очередь гарантировало обеспечение предъявляемых требований к свойствам сварных соединений и высокую эксплуатационной надежность объекта.

Спасибо за внимание!

