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. Сажаев, 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 низгоуглеродистых и нержавеющих 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 промысловых 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 промысловых 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 $T_{ИСП.}$ = **минус 40 °С**	**≥ 50 Дж** – среднее значение **≥ 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 аргонодуговая сварка.
  Применялась для сварки стыков диаметром до 114,3 мм включительно;
- **РАД+РД** – ручная аргонодуговая 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	ОК 53.70 и Fox EV Pipe, диаметром 2,5 и 3,2 мм	Корневой и подварочный слои шва
РД	ОК 48.08, диаметром 2,5 и 3,2 мм	Заполняющие и облицовочный слои шва , стали класса прочности до К54 вкл.
РД	Fox EV 65 и Pipeliner 18P, диаметром 2,5 и 3,2 мм	Заполняющие и облицовочный слои шва , стали класса прочности от К54
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 слои шва , стали класса прочности до К54 вкл.

Перечень рекомендованных сварочных материалов для труб из нержавеющих сталей

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

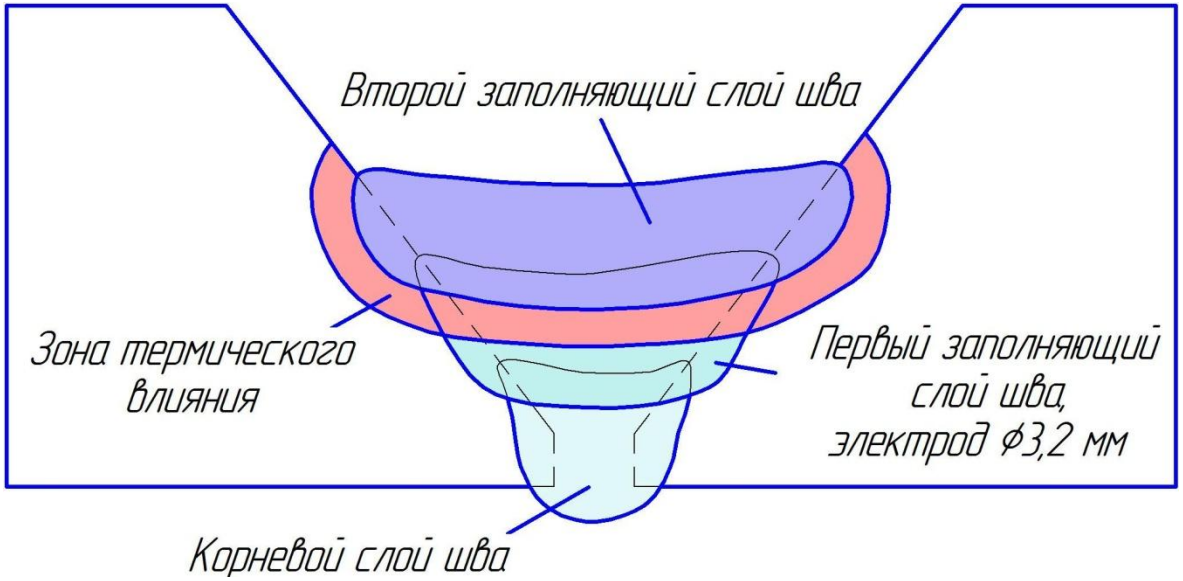
Предварительные испытания

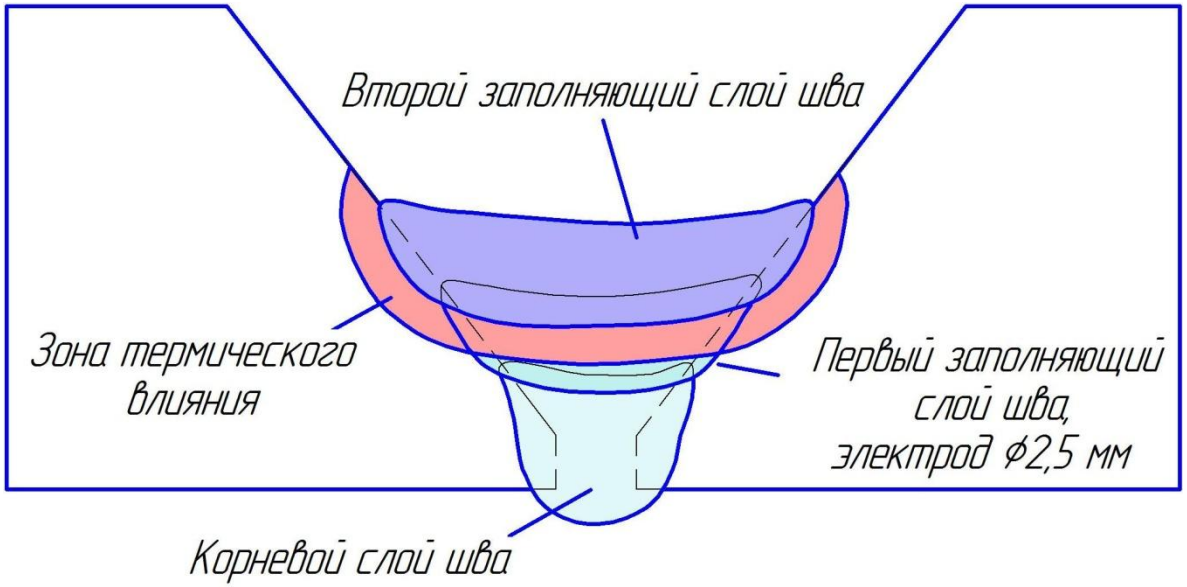
1. Ручная дуговая сварка.
2. Свариваемые материалы: сталь A 671 CC 70 cl. 22
3. Послесварочная термическая обработка: отсутствует.

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

Номер образца	Температура испытаний, °C	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-5Н-4	***-40***	***Шов***	***27,9***	***34,9***	***42,8***
КСС-5Н-5	***-40***	***Шов***	***48,7***	***60,9***	
КСС-5Н-6	***-40***	***Шов***	***26***	***32,5***	

Предварительные испытания





Предварительные испытания

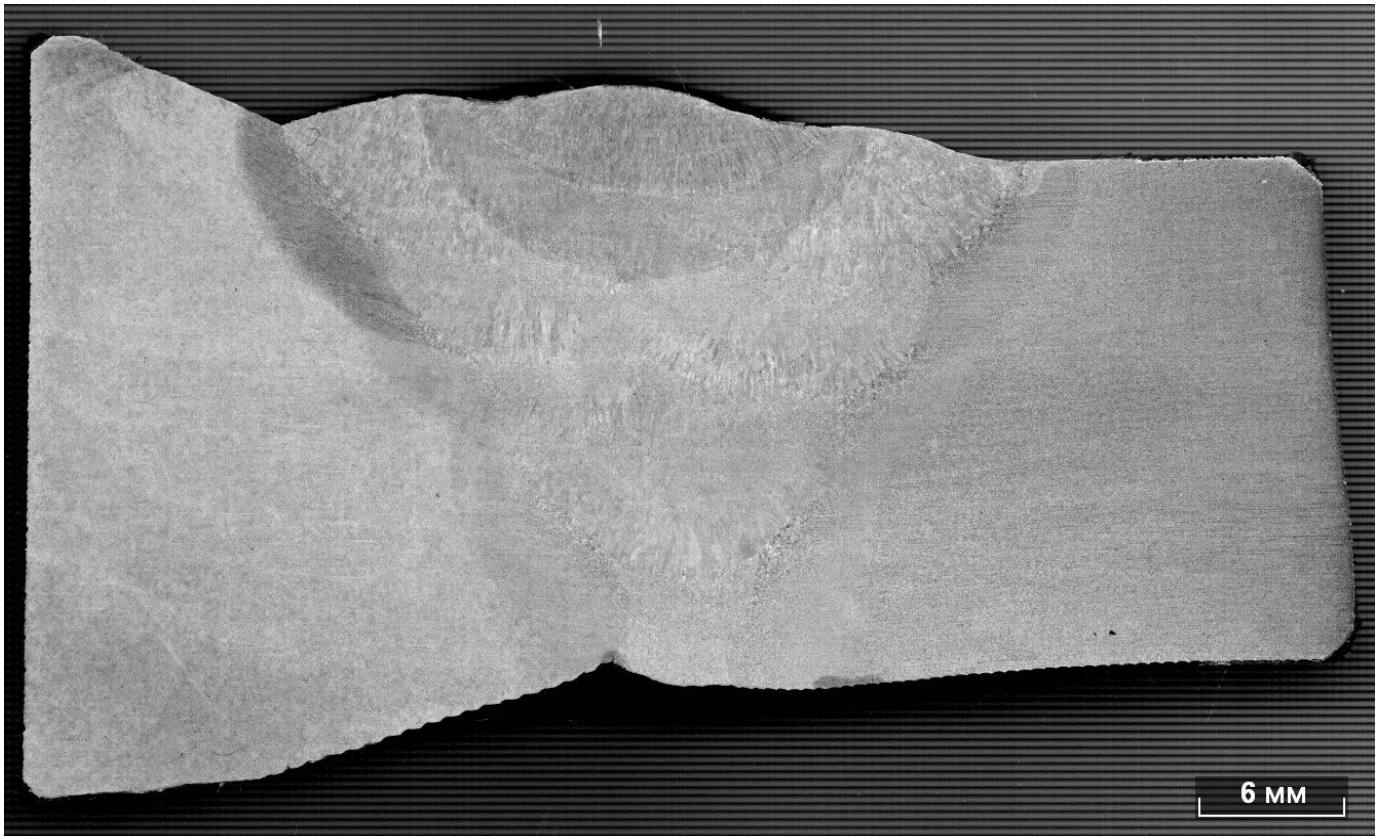
<u>Предложенное решение.</u> Для первого заполняющего валика применять электроды только диаметром 2,5 мм и ограничить погонную энергию при сварке.

Технология сварки, ТД	**РД, пСПС (pWPS) № ZGS-000-pWPS-0007 Rev.1/Ред.1**
Номер контрольного сварного соединения	№ WPS-0007
Основной металл	Труба Ø508x19,05 мм из стали **A 671 CC60 cl.2**2 + труба Ø508x19,05 мм из стали **A860 WPHY60**
Сварочный материал	Корневой слой шва – электроды марки **OK 53.70 Ø2,5 мм**, 1-ый заполняющий слой шва - электроды марки **OK 48.08 Ø2,5 мм** заполняющие и облицовочный слои шва – электроды марки **OK 48.08 Ø3,2 мм**

Номер образца	Температура испытаний, ºС	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

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



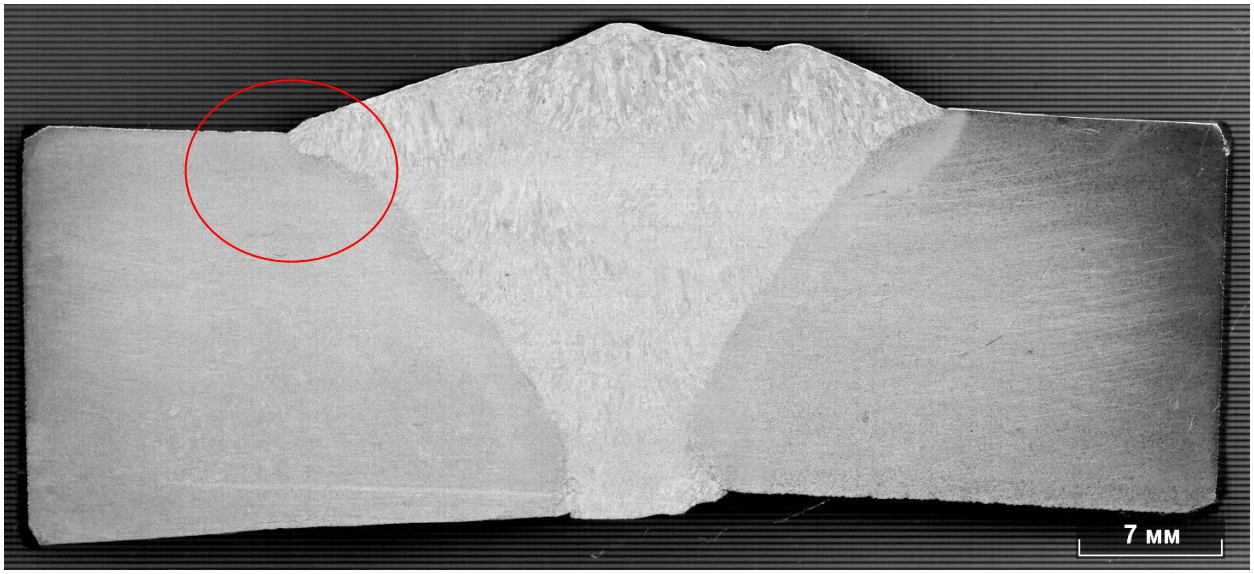
Предварительные испытания

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

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

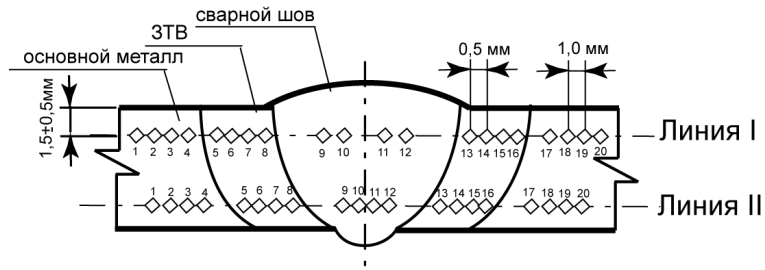
Предварительные испытания

1. Сварка по комбинированной технологии: МП+АПИ (сварочные головки М-300С).
2. Свариваемые материалы: сталь А 671 СС 70 cl. 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 cl. 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;**

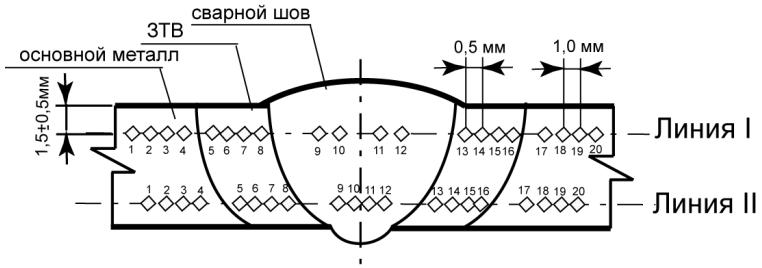
Предварительные испытания

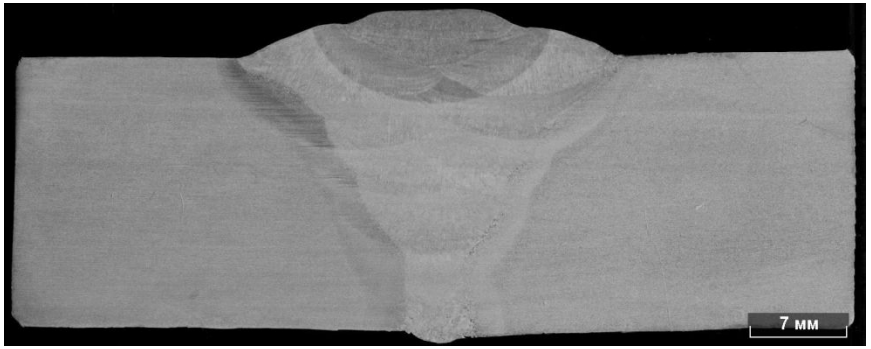
<u>Предложенное решение.</u>

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 ºС, применить сопутствующий подогрев до температуры 100+30 ºС.

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 Ø508,0х19,05 мм из стали **A 671 CC60 cl.22** + труба Ø508,0х19,05 мм из стали **A 671 CC70 cl.22**
Сварочный материал	Корневой слой шва – электроды марки **OK 53.70 Ø2,5 мм**, Заполняющие и облицовочный слои шва – порошковая проволока марки **OK 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.

<u>Несоответствие НД:</u> 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

<u>Предложенное решение.</u>

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 К54 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 свыше К54 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

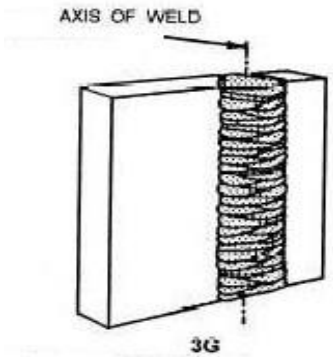
- <u>Для аустенитных сталей:</u>

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

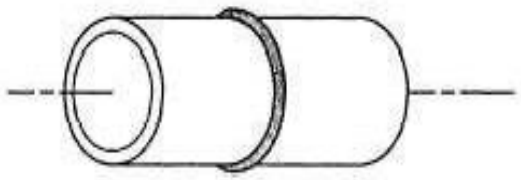
Объем квалификационных испытаний

- 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

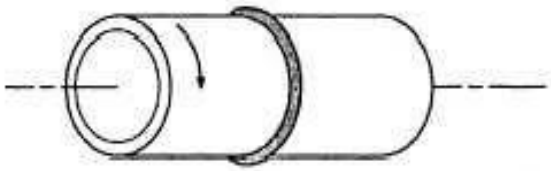


Сварка пластин в положении 3G
(требования ASME)



5G HORIZONTAL FIXED POSITION

Положение для квалификации всех технологий
(кроме РД+МПИ)

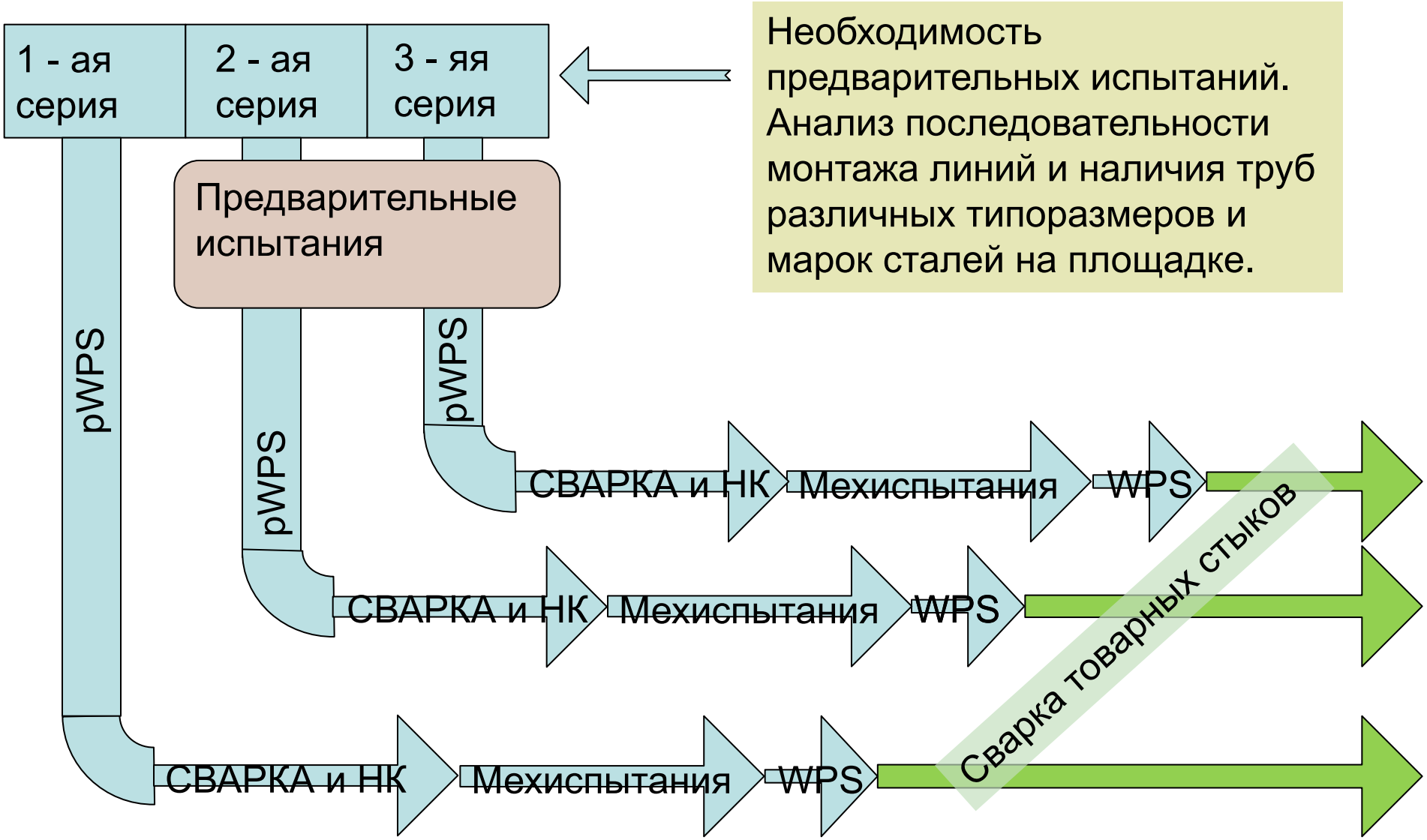


IG HORIZONTAL ROLLED POSITION

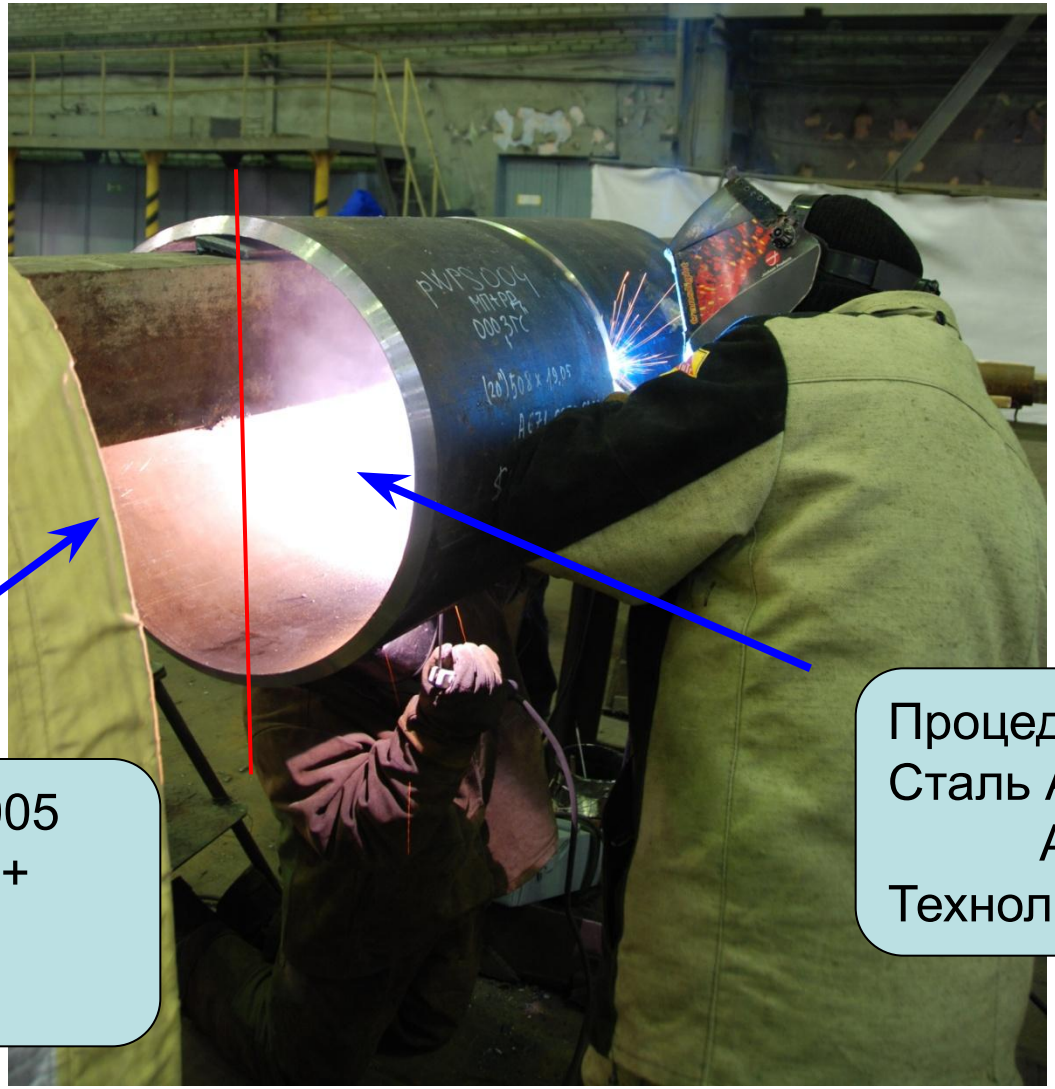
Положение для квалификации
Технологии РД+МПИ

Квалификационные испытания

Схема проведения квалификационных испытаний



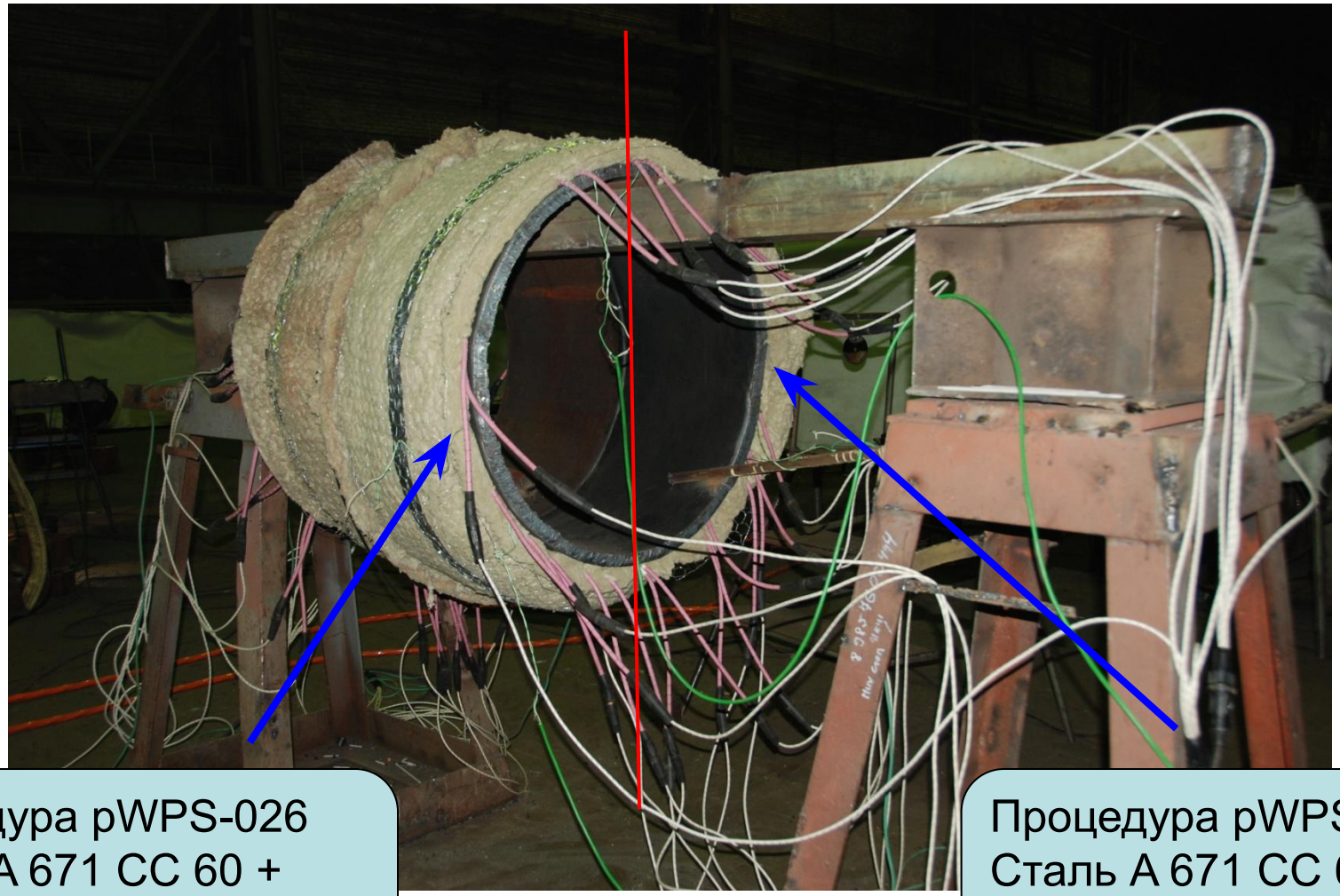
Квалификационные испытания



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

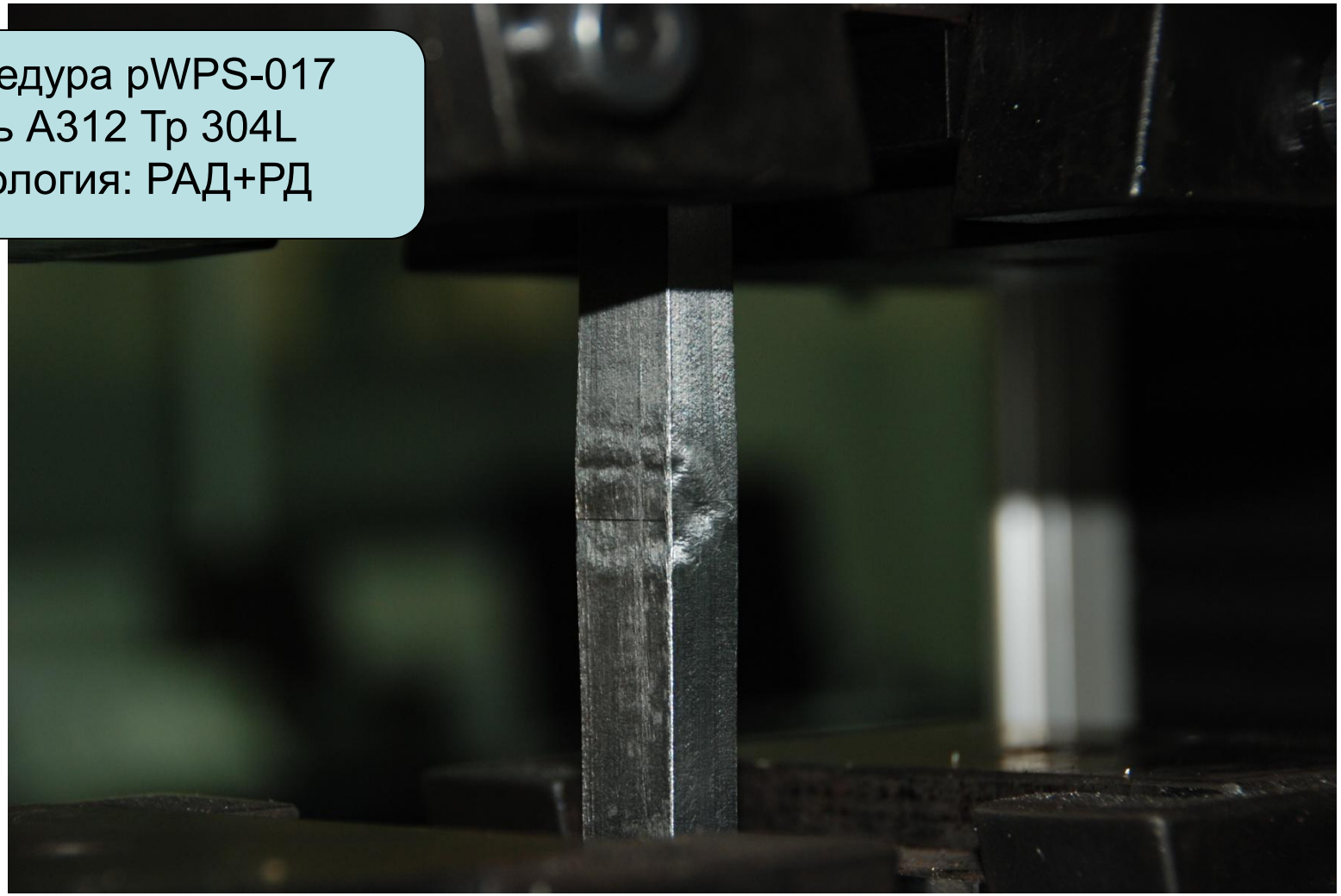


Процедура pWPS-026
Сталь A 671 CC 60 +
A860 WPHY60
Технология: РД

Процедура pWPS-025
Сталь A 671 CC 60 +
A860 WPHY60
Технология: МП + РД

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

Процедура pWPS-017
Сталь A312 Tp 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!