

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. Сажаяев, 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 | ОК 53.70 и Fox EV Pipe, диаметром 2,5 и 3,2 мм | Корневой и подварочный слой шва |
| РД | ОК 48.08, диаметром 2,5 и 3,2 мм | Заполняющие и облицовочный слой шва, стали класса прочности до К54 вкл. |
| РД | Fox EV 65 и Pipeliner 18P, диаметром 2,5 и 3,2 мм | Заполняющие и облицовочный слой шва, стали класса прочности от К54 |
| РАД | ОК 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 | ОК Tubrod 15.17 диаметром 1,2 мм | Заполняющие и облицовочный слой шва, стали класса прочности до К54 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 |

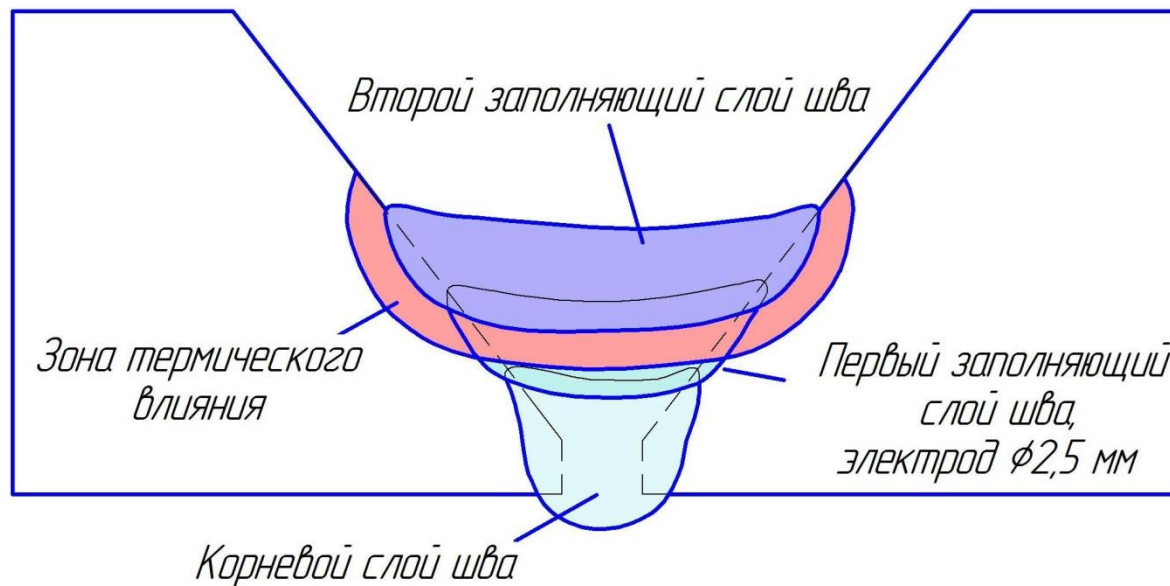
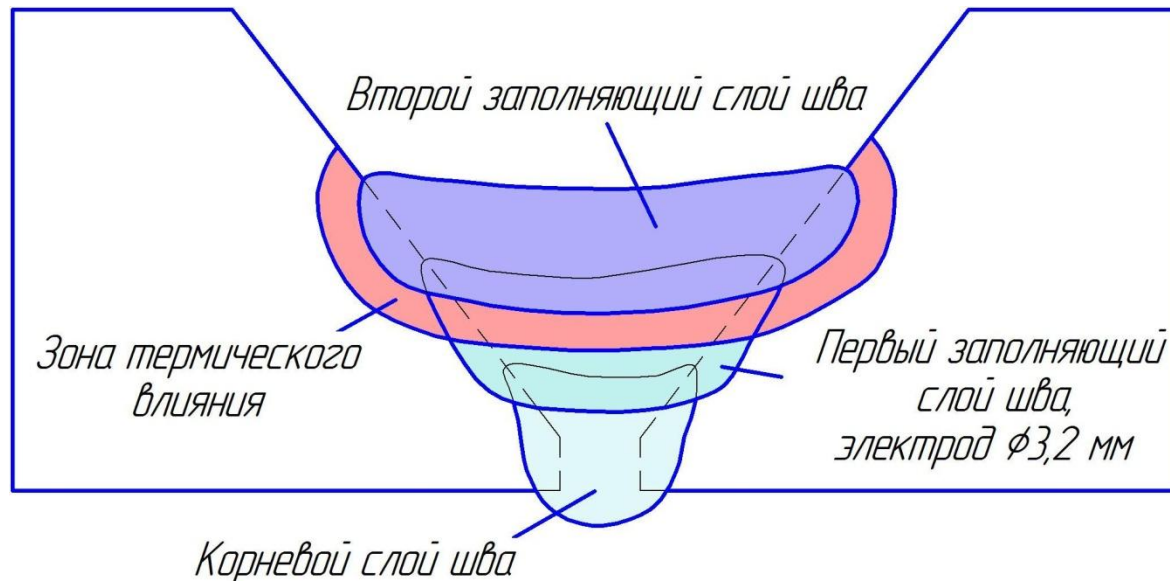
Предварительные испытания

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



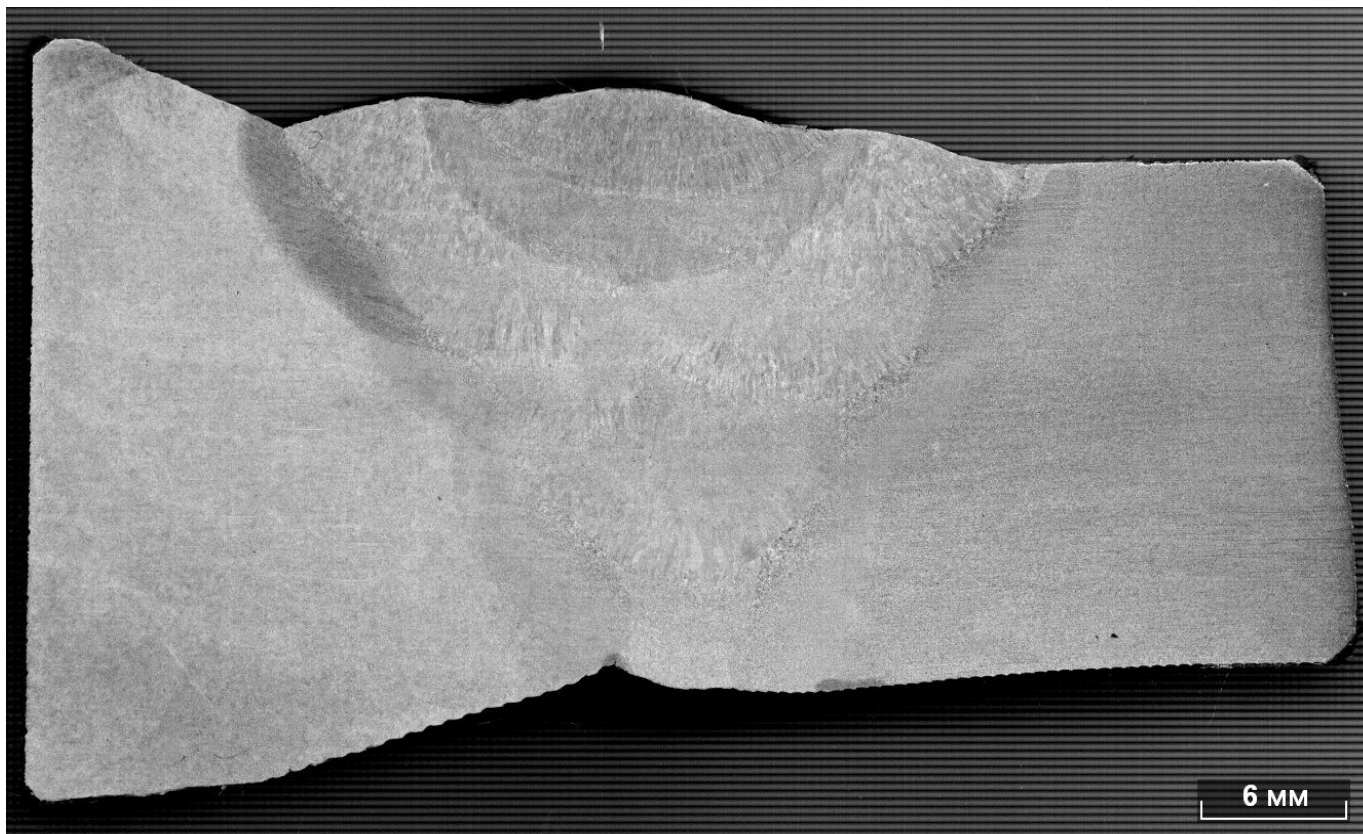
Предварительные испытания

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 слои 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.



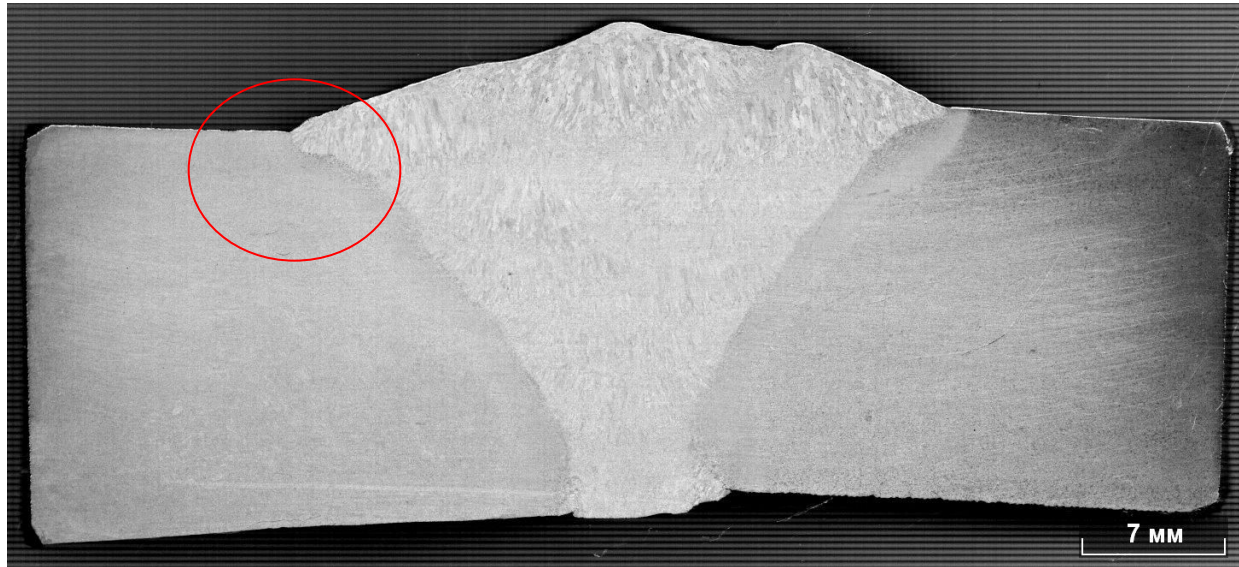
Предварительные испытания

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.

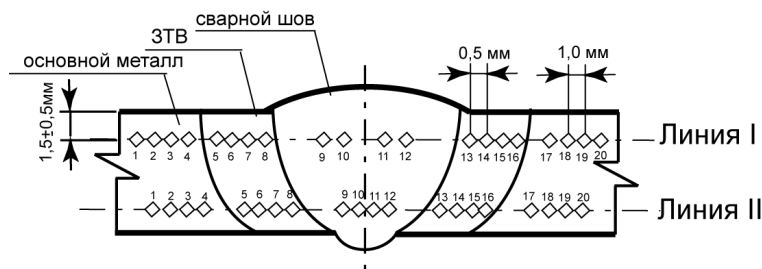
Предварительные испытания

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 сл. 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;

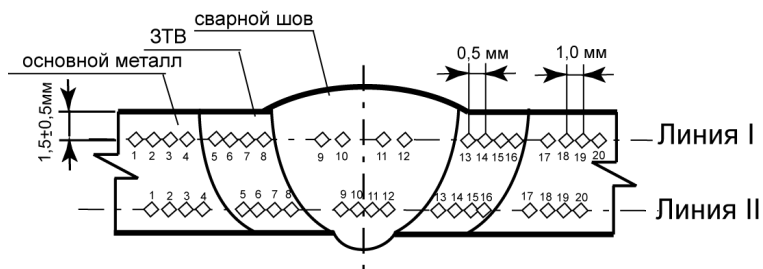
Предварительные испытания

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 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, применить сопутствующий подогрев до температуры $100+30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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

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

- Для низкоуглеродистых сталей класса прочности выше K54 включительно:

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

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

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

Сочетания сталей для проведения квалификационных испытаний

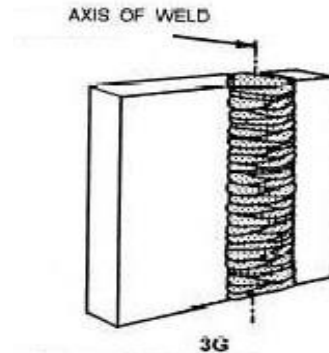
- Для аустенитных сталей:

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

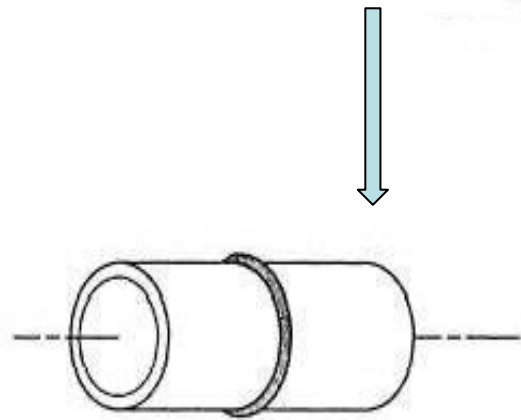
Объем квалификационных испытаний

- 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

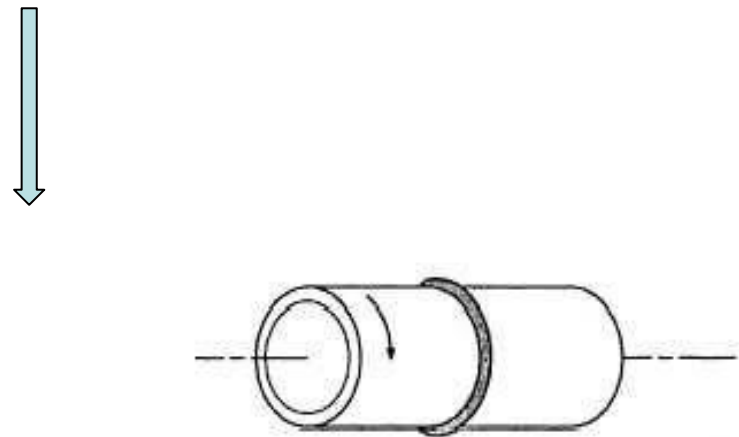


Сварка пластин в положении 3G
(требования ASME)



5G HORIZONTAL FIXED POSITION

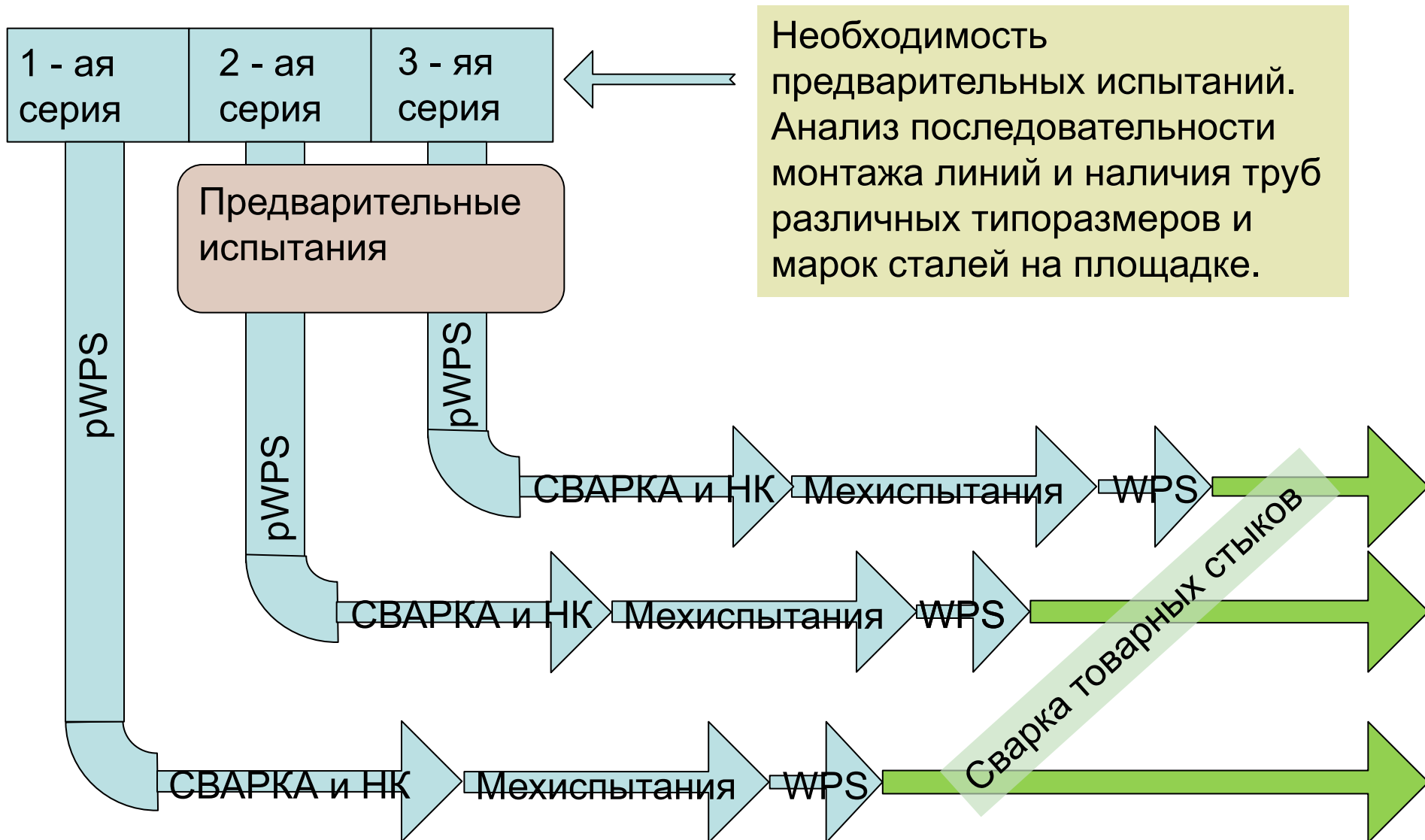
Положение для квалификации всех технологий
(кроме РД+МПИ)



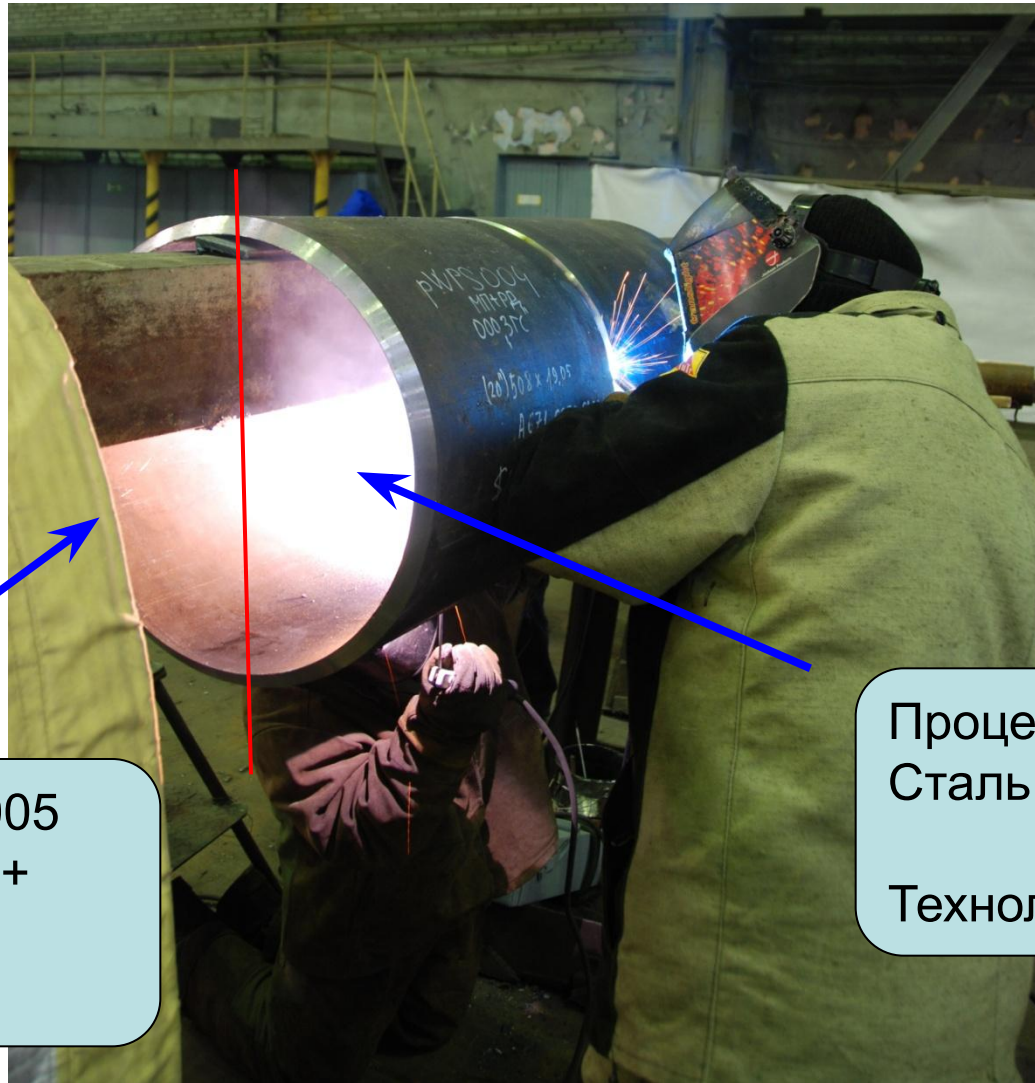
1G HORIZONTAL ROLLED POSITION

Положение для квалификации
Технологии РД+МПИ

Схема проведения квалификационных испытаний



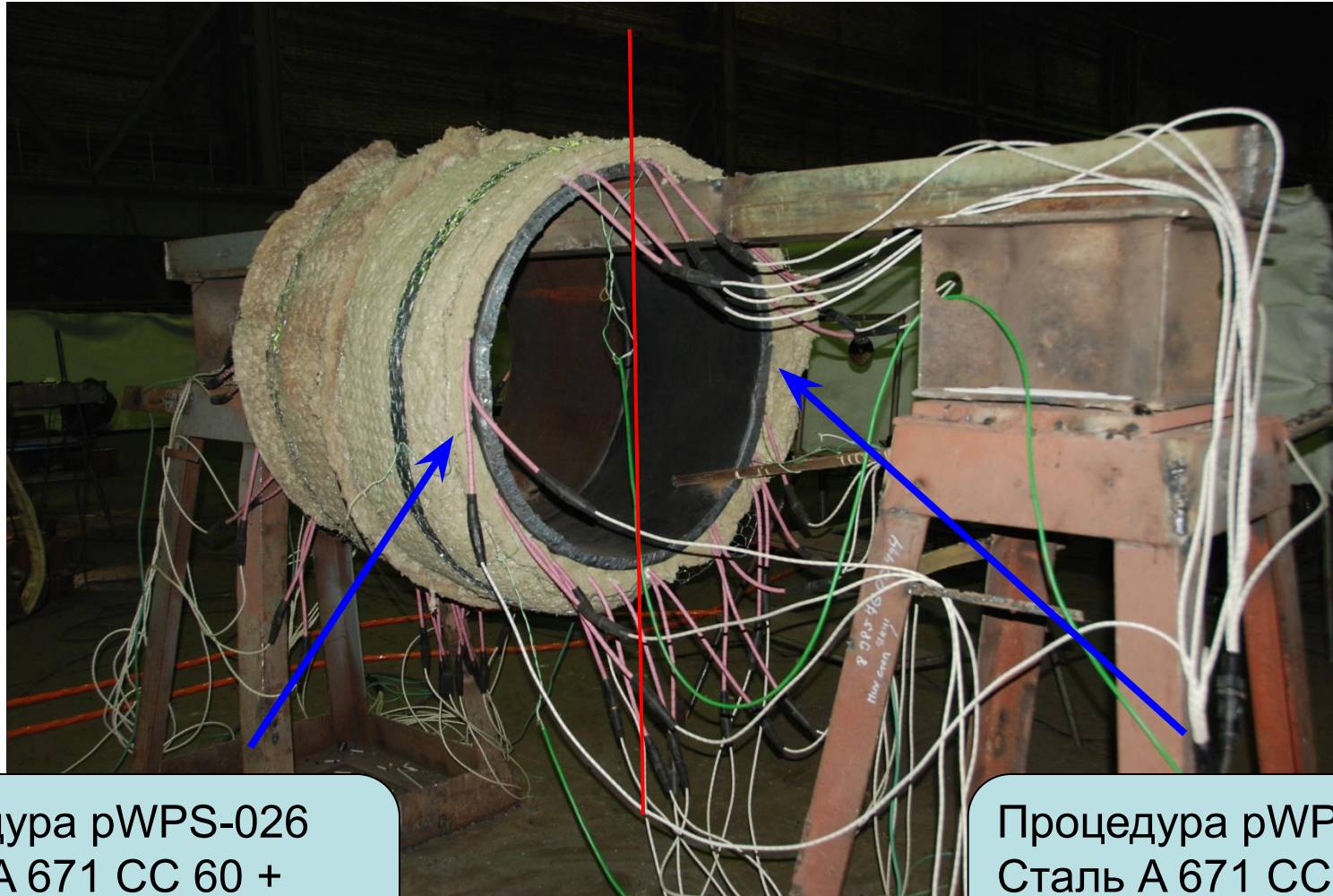
Квалификационные испытания



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

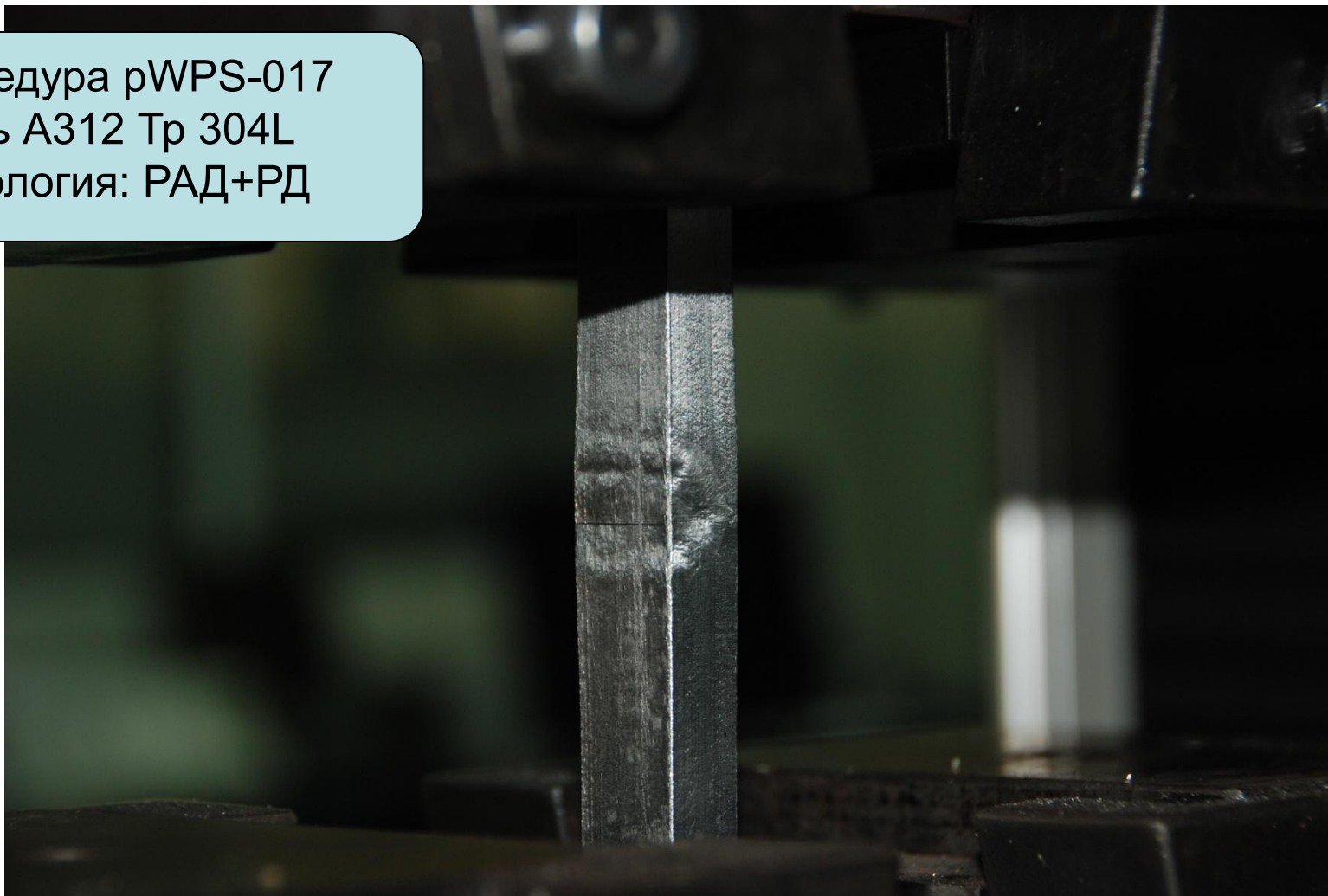


Процедура pWPS-026
Сталь А 671 СС 60 +
А860 WPHY60
Технология: РД

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!

