



РОСАТОМ

НИАЭП



НИКИМТ-АТОМСТРОЙ

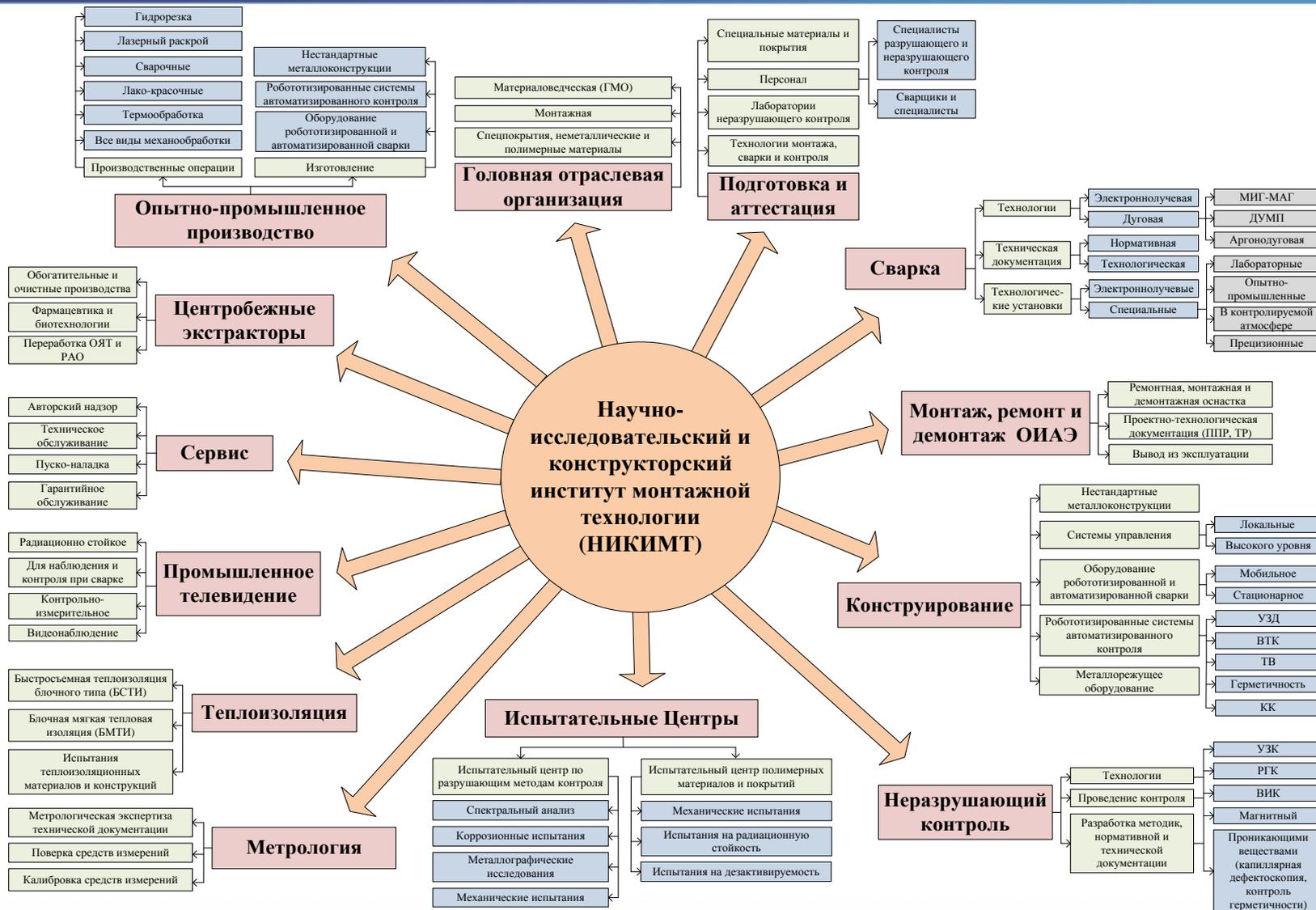
ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

«Технология выполнения автоматической сварки»



Авторы: Хорев В.Н., Губа С.В.



Автоматизация сварки в атомной отрасли

В настоящее время основным способом соединения трубопроводов больших диаметров (ГЦТ, КМПЦ) является многопроходная ручная аргонодуговая сварка (РАДС) неплавящимся электродом с присадочной проволокой при заварке корня шва и ручная дуговая сварка (РДС) покрытыми электродами при заполнении разделки.

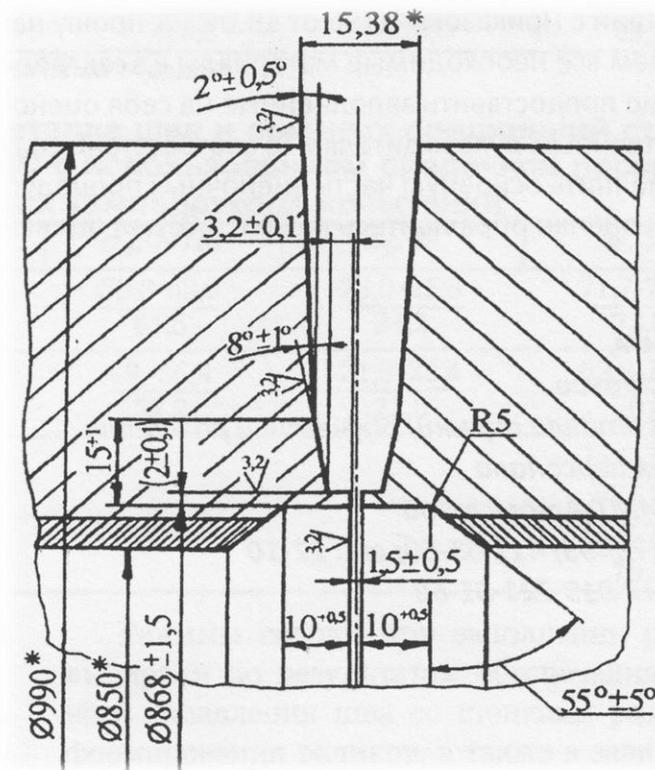
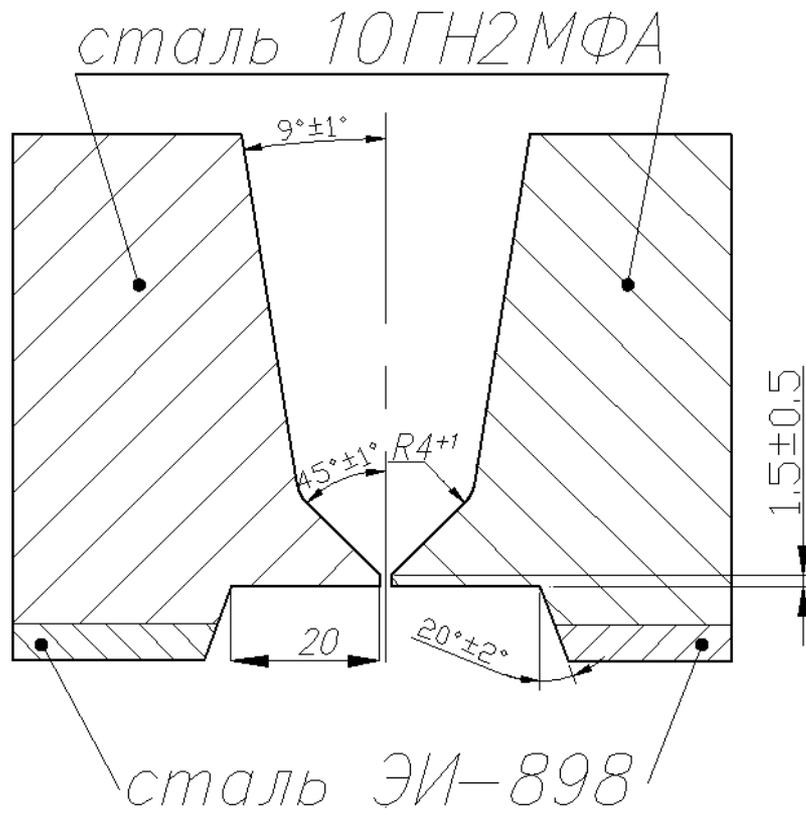


Заполнение сварного соединения в потолочном положении

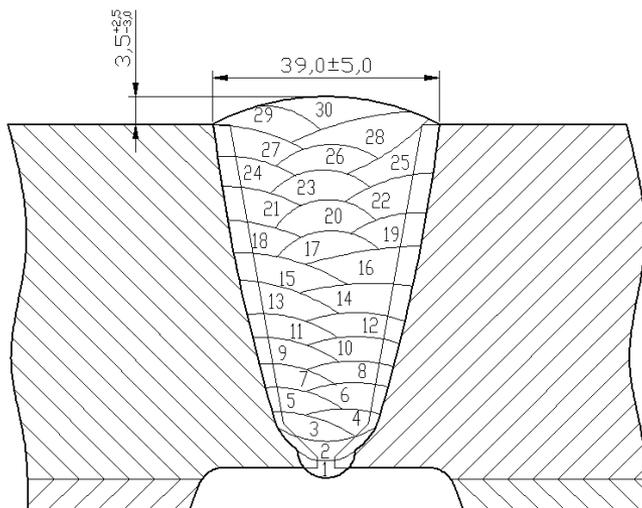


Заполнение сварного соединения двумя сварщиками на подъем

Автоматизация сварки в атомной отрасли



Автоматизация сварки в атомной отрасли



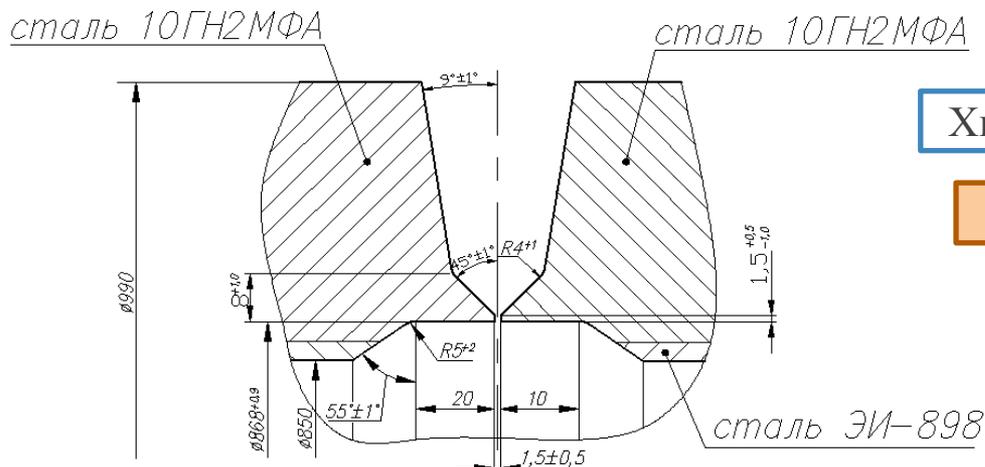
Внешний вид сварного соединения выполненного РДС

Основные недостатки РДС

- 1) Наличие значительного количества несплошностей (несплавлений), газовых и шлаковых включений.
- 2) Большой объем проведения сопутствующих и ремонтных работ (исправления дефектов).
- 3) Отсутствует повторяемость и не достигнута стабильность получения качественного сварного соединения.
- 4) Квалификация сварщиков.



Прожег сварного шва при выполнении корневых проходов



Проектная разделка сварного соединения
(ПНАЭ Г-7-009-89) 1-25-7 (С-27)

Химический состав (массовая доля, %) Св-08Г2С

Выполнение корневой части разделки

Fe	C	Si	Mn	S	P
Основа	0,06	0,88	1,8	≥0,012	≥0,01

Химический состав (массовая доля, %) Св-10ГН1МА

Выполнение заполнения разделки

Fe	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Al	Cu
Основа	0,05-0,12	0,1-0,4	0,9-1,5	≥0,02	≥0,02	0,3	1,4-1,8	0,5-0,75	0,01	0,04	≥0,25

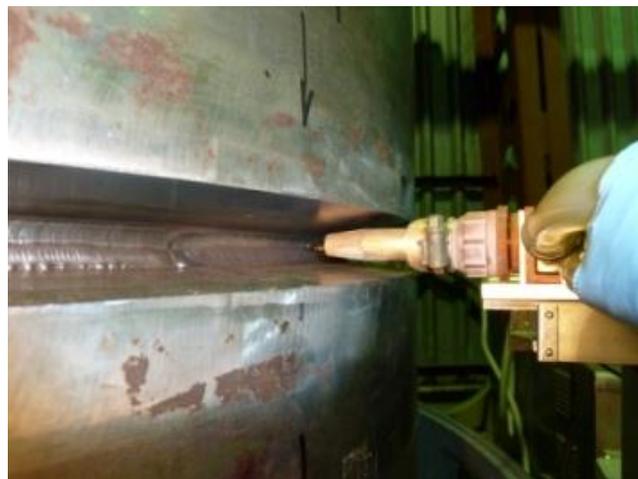
Химический состав (массовая доля, %) стали 10ГН2МФА

Основной металл ГЦТ

Fe	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Al	Ti	Cu
Основа	0,08-0,12	0,17-0,37	0,8-1,0	≥0,02	≥0,02	≤0,3	1,8-2,3	0,4-0,7	0,03-0,07	0,005-0,035	≤0,015	≤0,3



Подготовка натурального образца ГЦТ под сварку



Заполнение разделки сварного шва

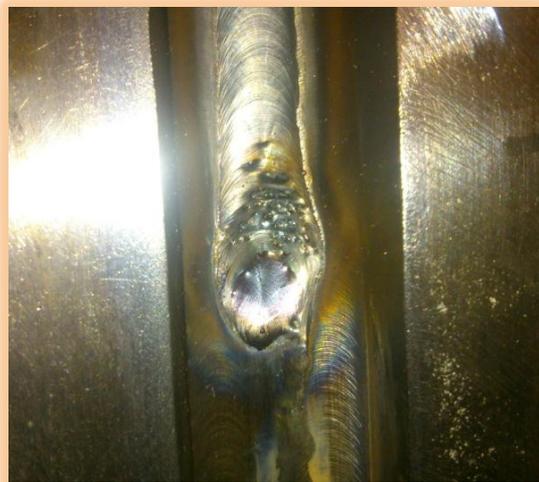


Внешний вид сварного соединения

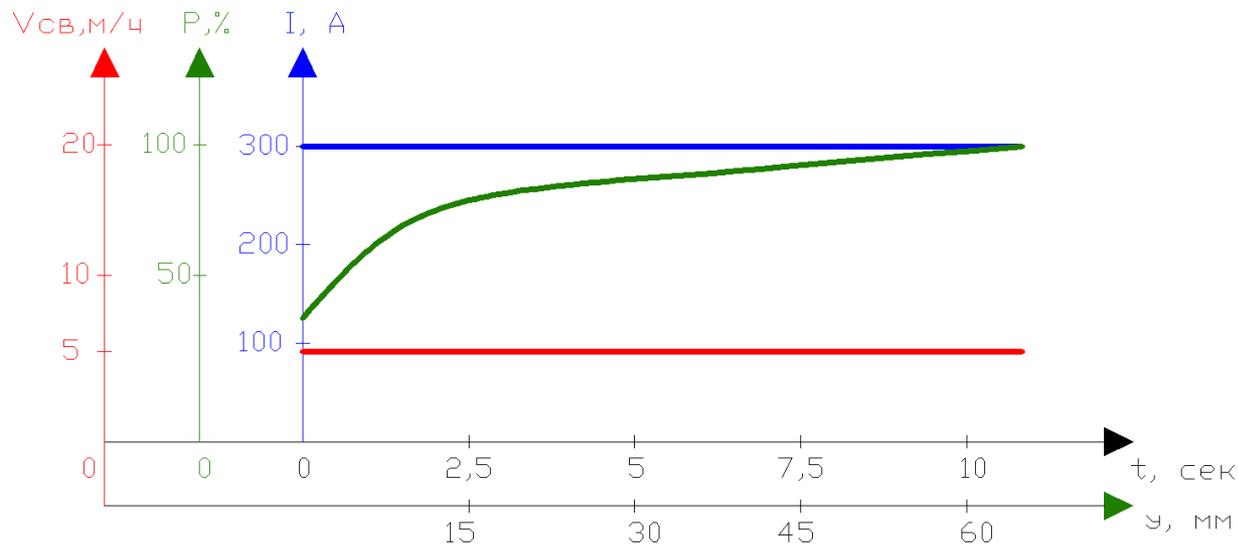
Изучение влияния изменения технологических параметров режима сварки на формирование сварного шва в среде аргона



Металлографический макрошлиф при сварке в непрерывном режиме (x10)

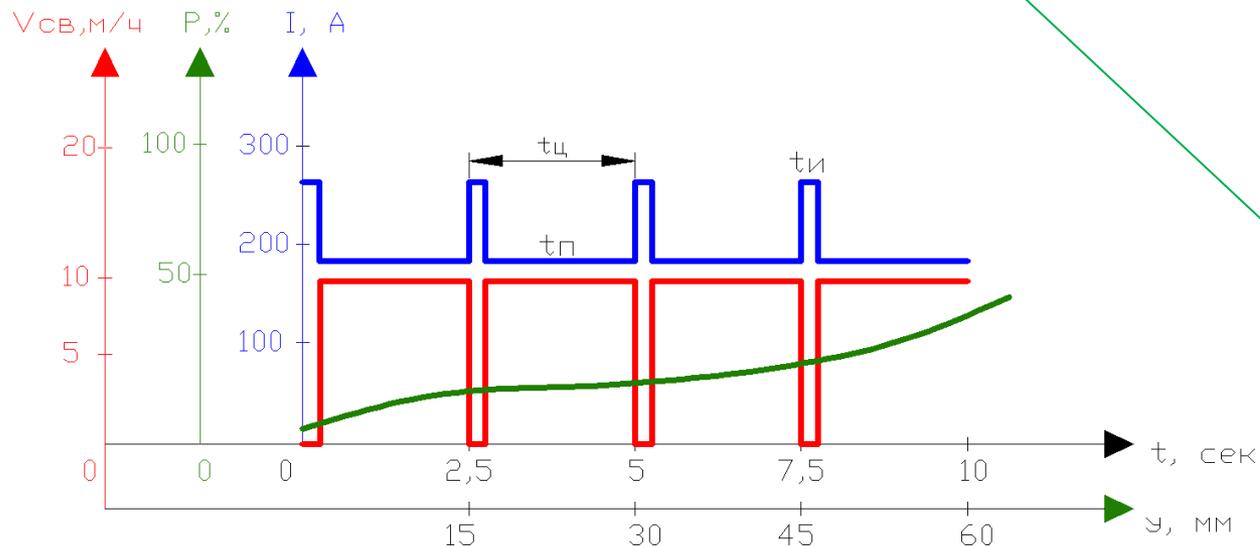
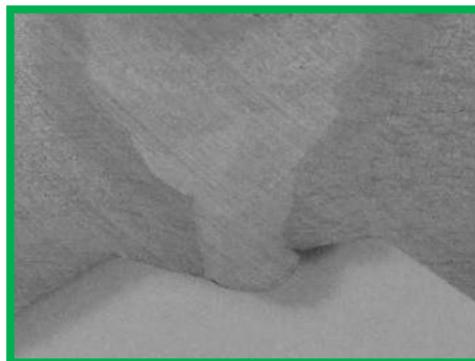


Внешний вид сварного шва в непрерывном режиме сварки

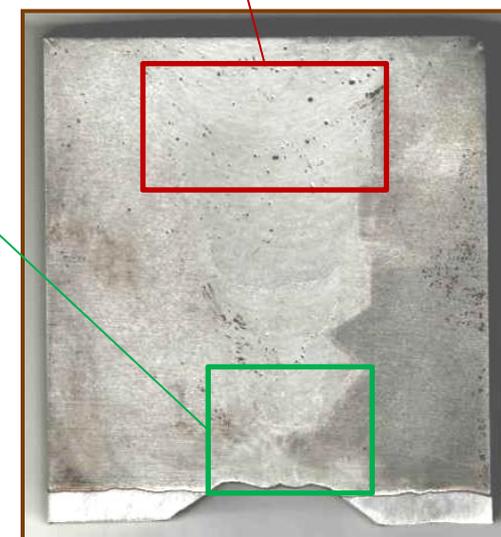


Зависимость вероятности образования дефектов от параметров режима сварки

Изучение влияния изменения технологических параметров режима сварки на формирование сварного шва в среде аргона

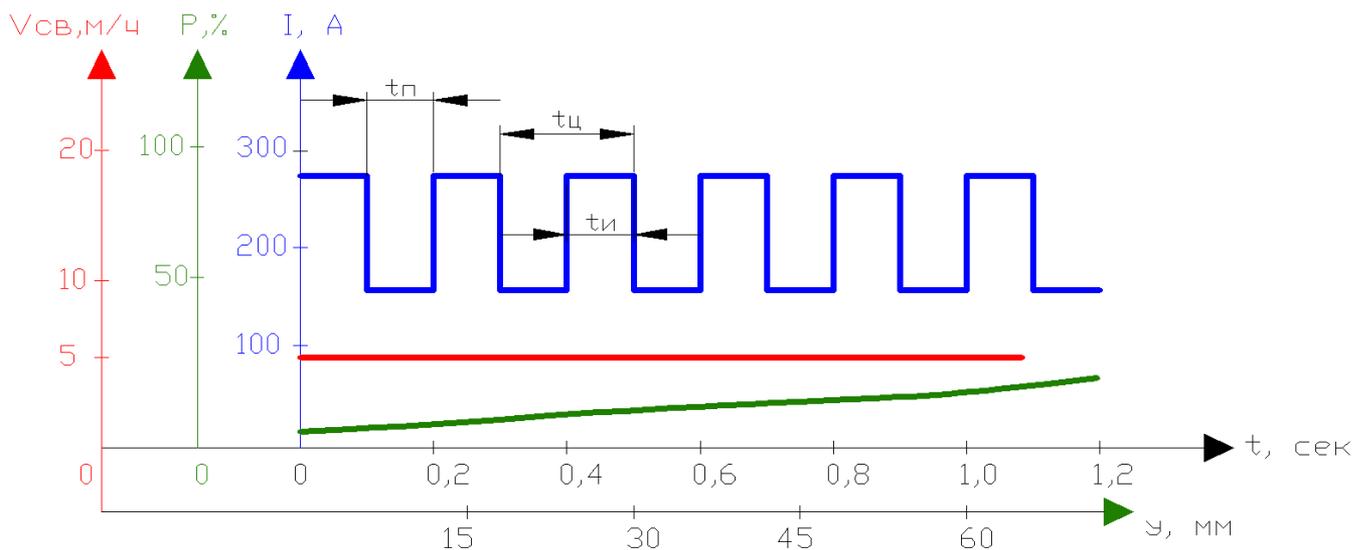


Зависимость вероятности образования дефектов от параметров режима сварки

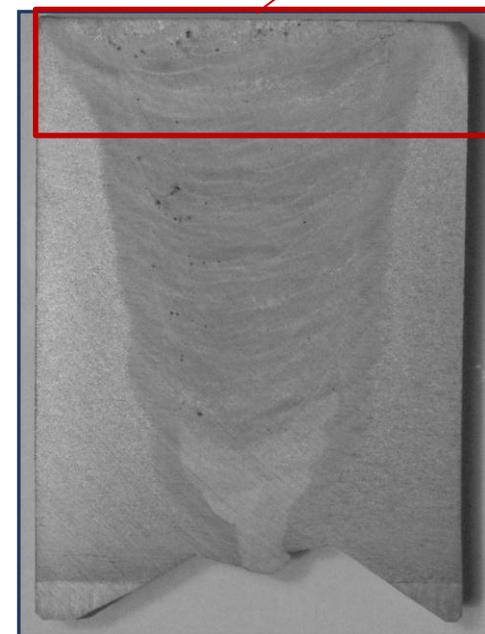


Макроструктура сварного шва в импульсно-шаговом режиме сварки

Изучение влияния изменения технологических параметров режима сварки на формирование сварного шва в среде аргона



Зависимость вероятности образования дефектов от параметров режима сварки



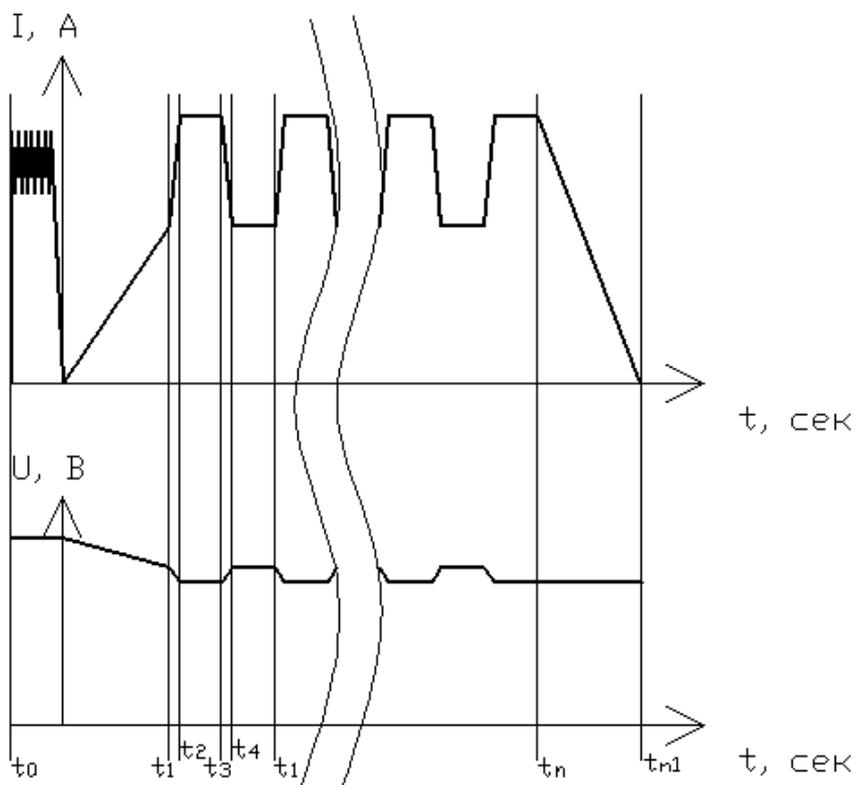
Макроструктура сварного шва в импульсном режиме сварки

Механические свойства сварного соединения и металла шва

№ п.п	Механические характеристики сварного соединения и металла шва	Требование ПН АЭ Г-7-010-89; ПН АЭ Г-7-002-86*	Фактические результаты испытаний		
			Непрерывный режим	Импульсно-шаговый режим	Импульсный (динамический) режим
1	Предел прочности сварного соединения (+ 20°C), МПа	не менее 539	<u>542-550</u> 546	<u>570-650</u> 610	<u>570-670</u> 620
2	Предел прочности металла шва (+ 350°C), МПа	не менее 490	<u>532-572</u> 552	<u>605-630</u> 617,5	<u>645-670</u> 657,5
3	Относительное удлинение (+ 20° С), %	не менее 16	<u>19-20</u> 19,5	<u>21-23</u> 22,0	<u>21-25</u> 23,0
4	Относительное удлинение (+ 350 °С), %	не менее 14	<u>15-17</u> 16	<u>17-22</u> 19,5	<u>21-28</u> 24,5
5	Относительное сужение (+ 20 °С), %	не менее 55	<u>54-70</u> 62	<u>60-71</u> 65,5	<u>65-74</u> 69,5
6	Относительное сужение (+ 350 °С), %	не менее 50	<u>54-65</u> 59,5	<u>55-70</u> 62,5	<u>55-77</u> 66
7	Угол загиба сварных соединений, °	не менее 60	<u>60-62</u> 61	<u>62-64</u> 63	<u>62-66</u> 64
8	Значение ударной вязкости (+ 20°C) (KCV)* (металл шва), Дж/ см ²	не менее 39	<u>115-135</u> 125	<u>120-148</u> 134	<u>125-168</u> 210,5
9	Значение ударной вязкости (+ 350°C) (KCV)* (металл шва), Дж/ см ²	не менее 59	<u>135-230</u> 182,5	<u>150-250</u> 200	<u>171-280</u> 225,5

Изучение влияния изменения технологических параметров режима сварки на формирование сварного шва

$$f = \frac{V_{св}}{a}$$



Циклограмма изменения сварочного тока и напряжения в процессе сварки одного прохода

$V_{св} = 3,6$ [м/ч] = $1,0$ [мм/сек];
 $a = 0,2$ [мм] – максимально допустимый дефект;

$f = V_{св} / a$ – частота импульсов сварочного тока;
 $f = 1,0 / 0,2 = 5$ [сек⁻¹]

$t_{ц} = 1 / f$, где $t_{ц}$ – длительность одного сварочного цикла;
 $t_{ц} = 1 / 5 = 0,2$ [сек]

$t_{и} = t_{ц} \cdot 0,5$ где $t_{и}$ – продолжительность импульса сварочного тока;
 $t_{и} = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1$ [сек]

$t_{ц} = t_{и} + t_{п}$, где $t_{п}$ – продолжительность паузы сварочного тока;

$t_{п} = t_{ц} - t_{и}$;
 $t_{п} = 0,2 - 0,1 = 0,1$ [сек].

Патент № 2475344
СПОСОБ СВАРКИ НЕПЛАВЯЩИМСЯ
ЭЛЕКТРОДОМ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

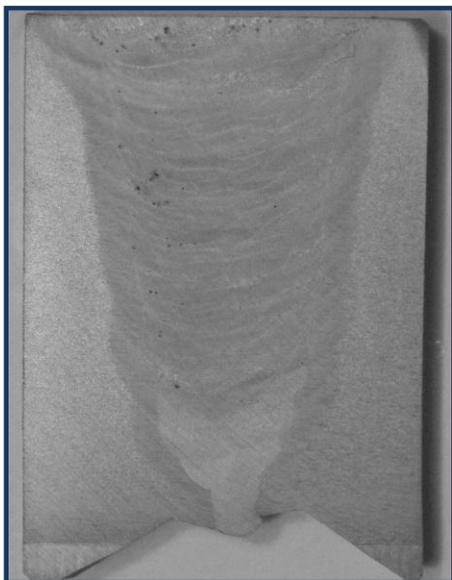
Оборудование для автоматической орбитальной сварки ГЦТ

Аппаратура управления сварочного комплекса СА-704

Сварка стыка ГЦТ двумя комплексами СА-704 одновременно



Изучение влияния состава защитного газа на дегазацию жидкого металла сварочной ванны



Макроструктура сварного шва
выполненного в среде аргона

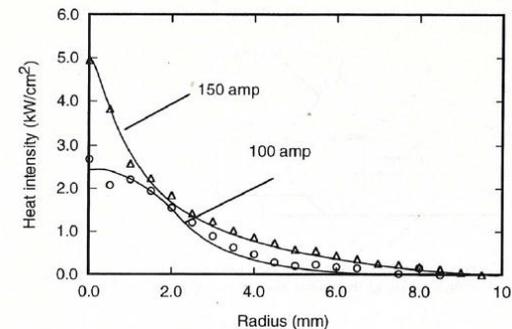
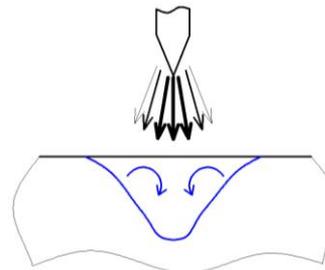
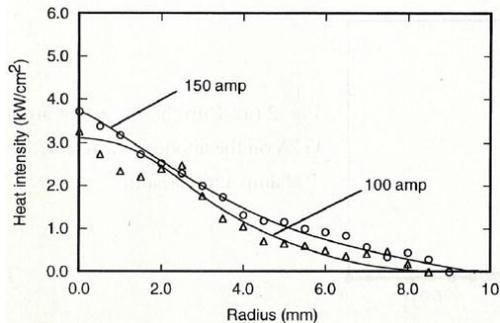
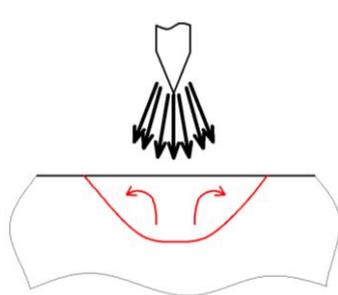


Макроструктура сварного шва
выполненного в среде
Ar 70%+He 30%



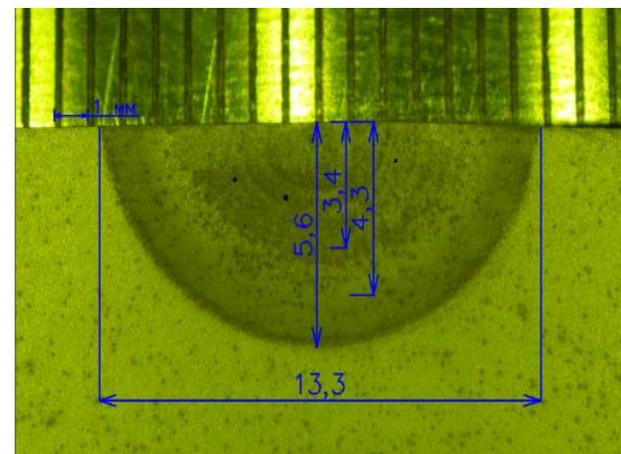
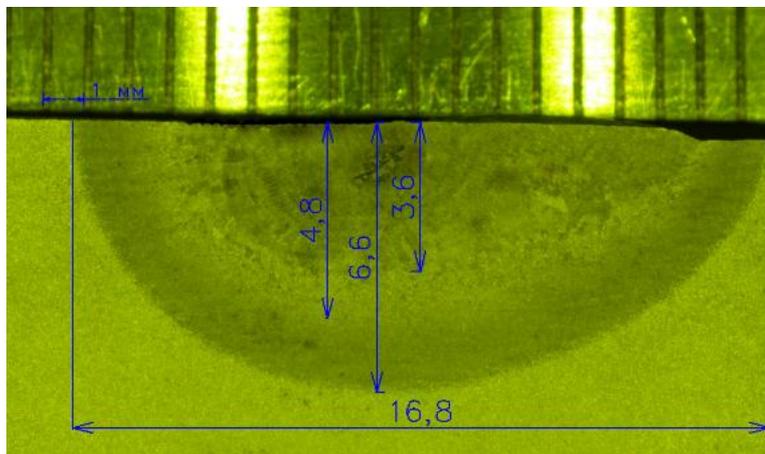
Макроструктура сварного
шва выполненного в среде
Ar 30%+He 70%

Изучение влияния состава защитного газа на дегазацию жидкого металла сварочной ванны



Распределение теплового потока сварочной дуги и форма проплавления металла в среде Ar 30%+He 70%

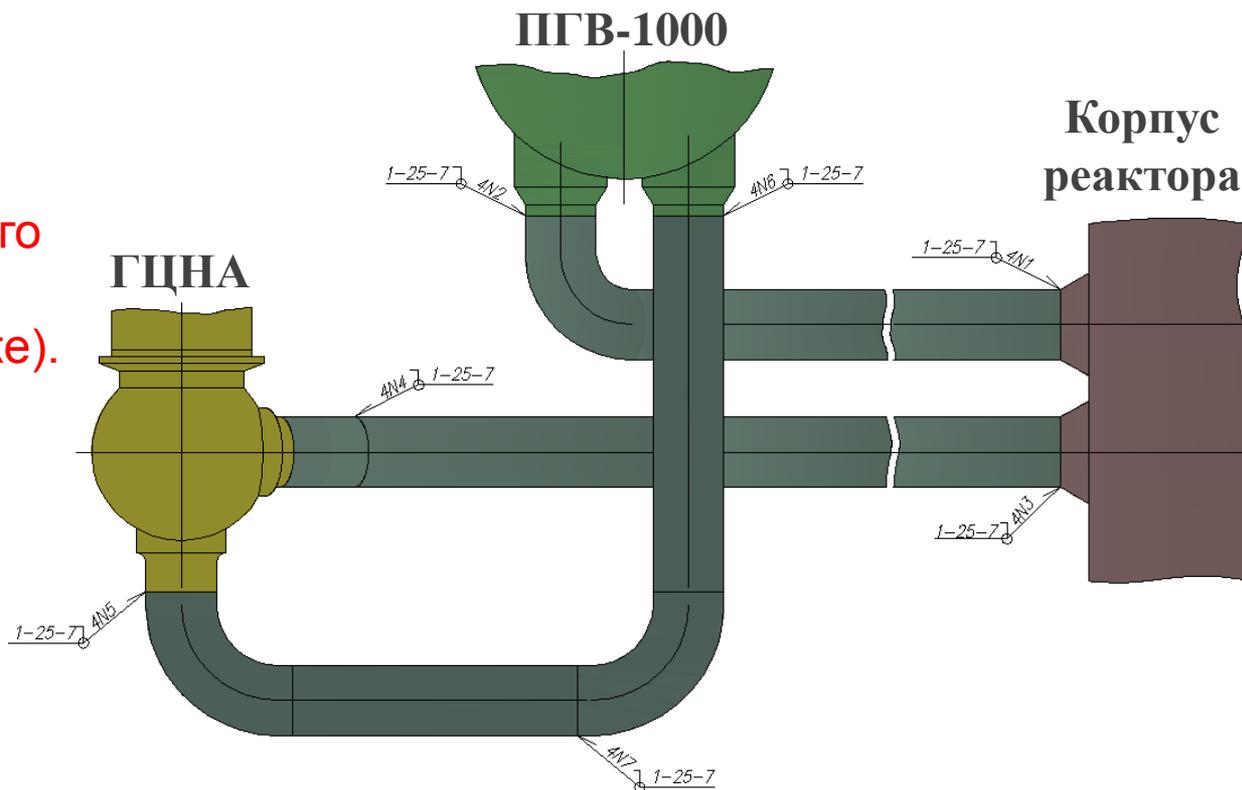
Распределение теплового потока сварочной дуги и форма проплавления металла в среде аргона



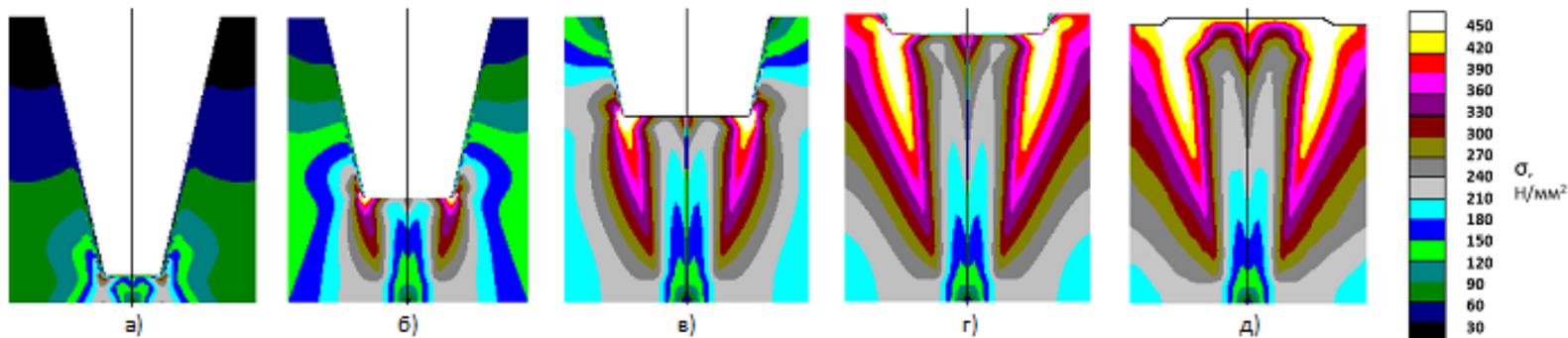
1) Напряжения конструкции.

2) Внутренние (сварочные) напряжения сварного шва.

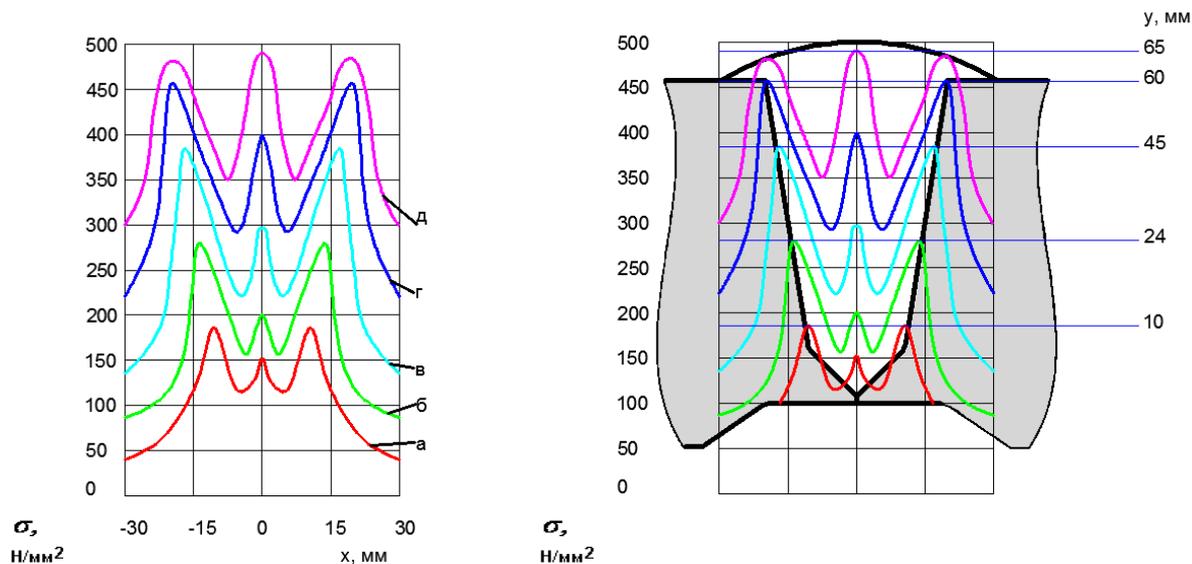
3) Напряжения термического расширения (при термической обработке).



Главный циркуляционный контур

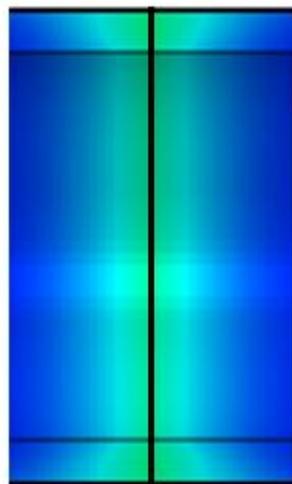
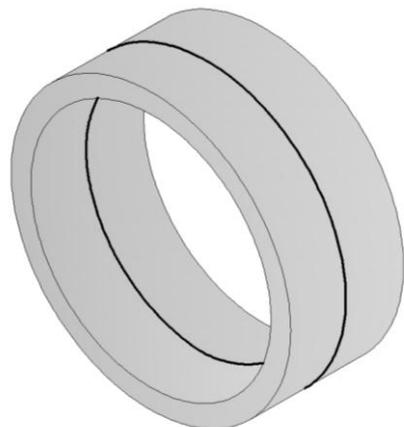


Изменение распределения суммарного напряжения по Мизесу при наплавке слоёв на уровне y_0 :
а) 10 мм, б) 24 мм, в) 45 мм, г) 60 мм, д) 65 мм

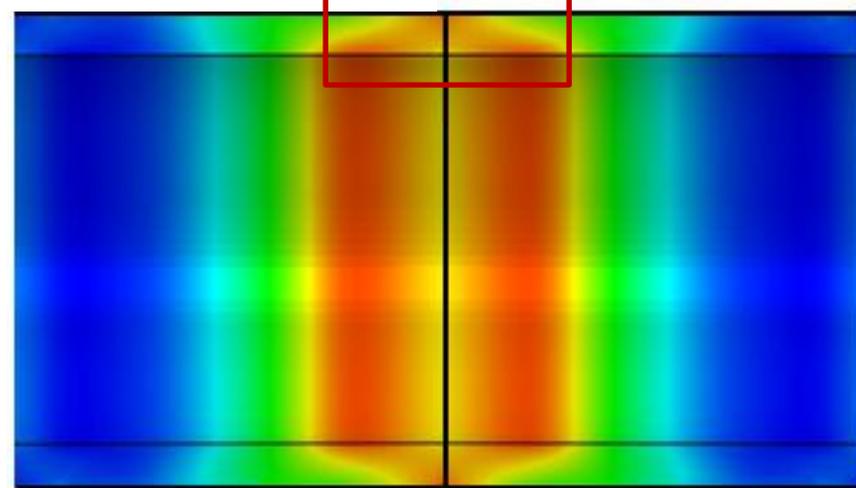
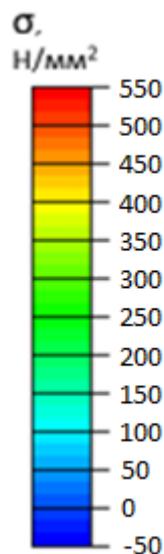
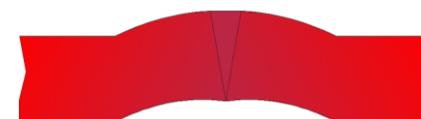
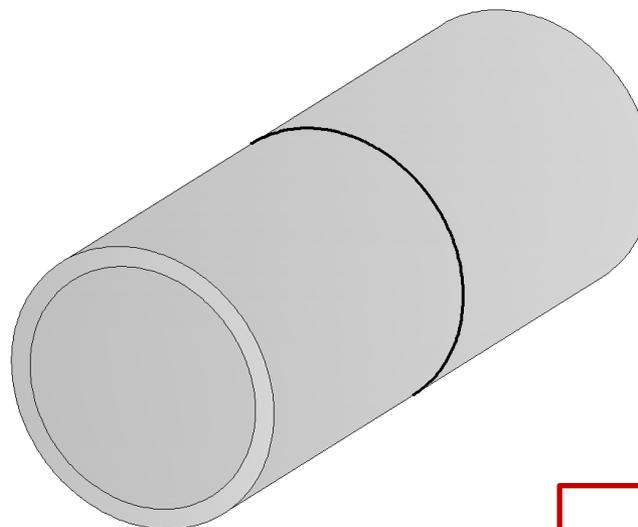


Распределения суммарного напряжения по Мизесу в поперечном сечении при выполнении наплавки на уровне y_0 :
а) 10 мм, б) 24 мм, в) 45 мм, г) 60 мм, д) 65 мм

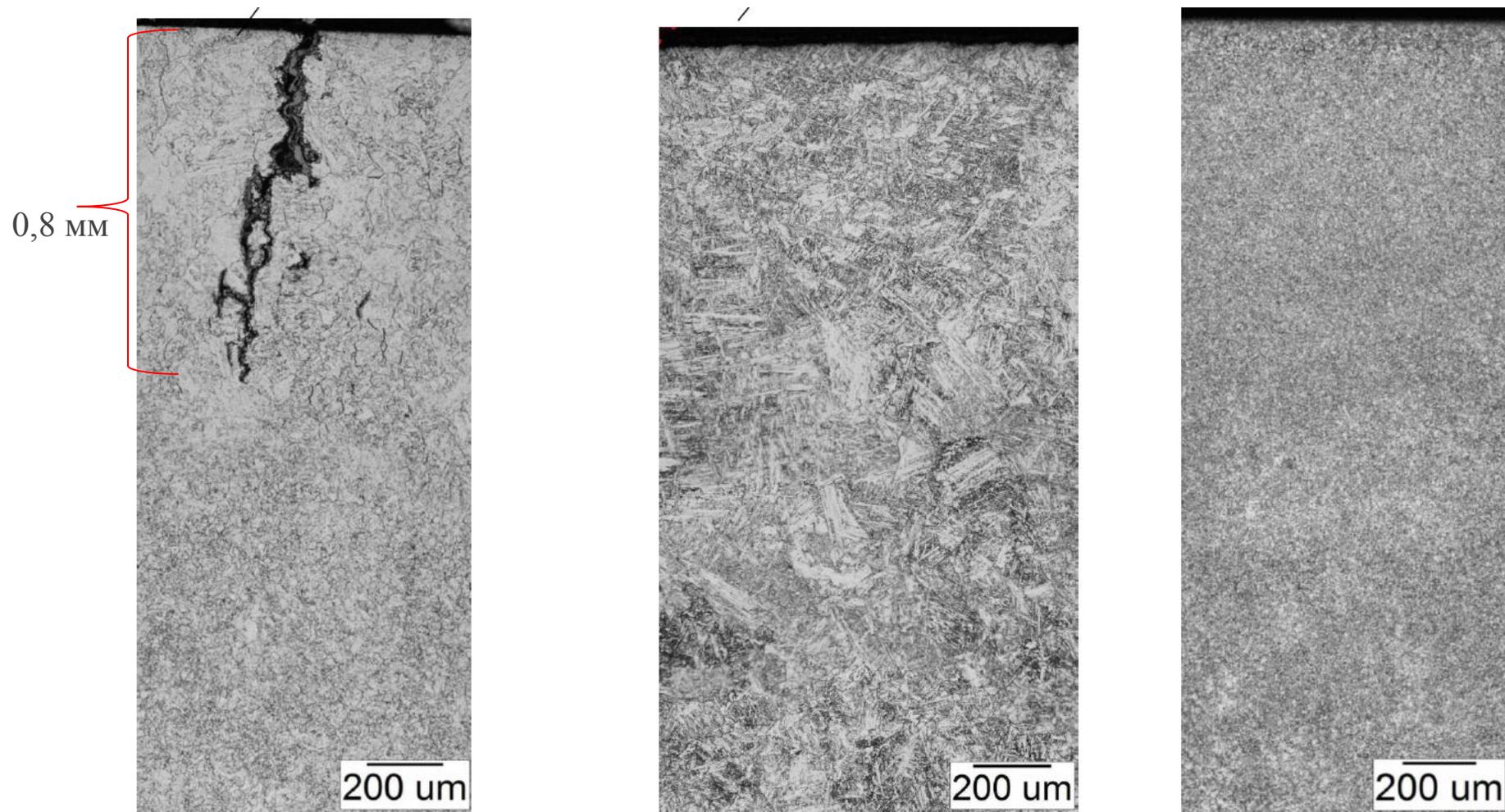
ПКСС ГЦТ



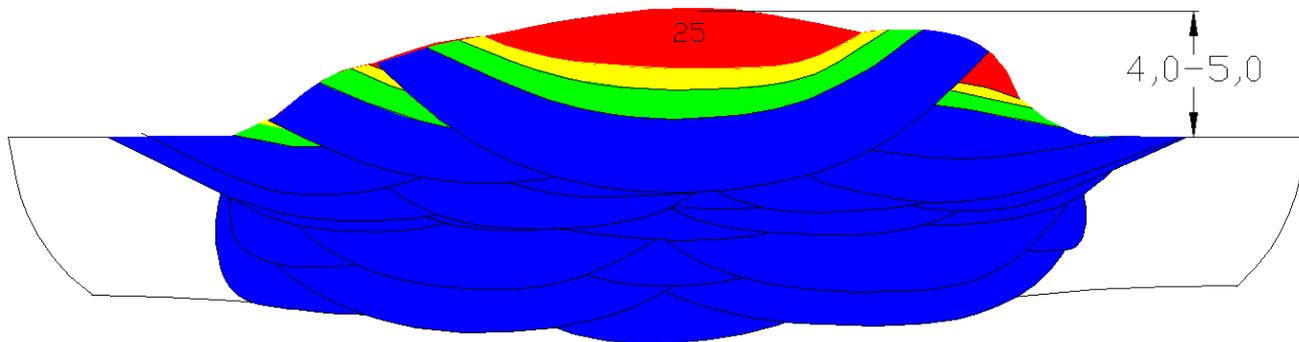
Монтажное СС ГЦТ



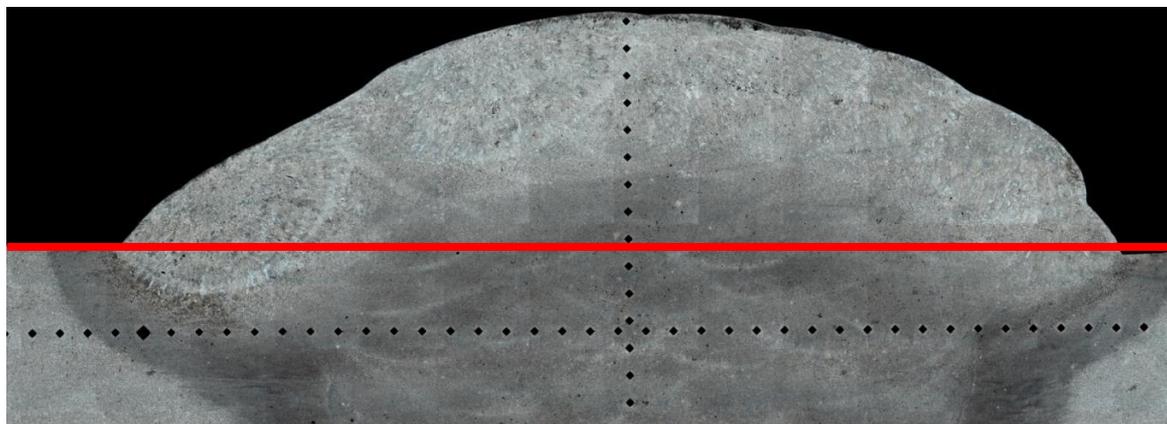
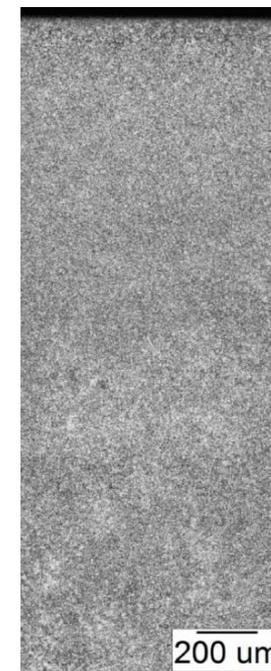
Распределение напряжений в выполненном сварном соединении ГЦТ при проведении термической обработки



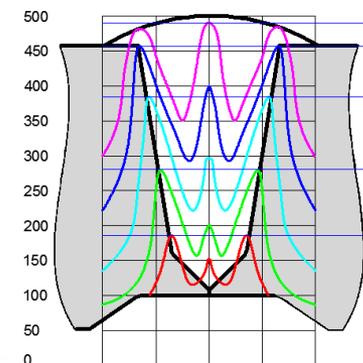
Фрагменты микроструктуры сварных швов (ААДС) на глубину 2,0 мм от наружной поверхности

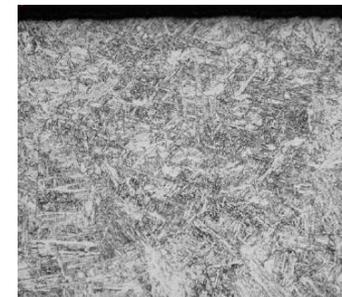
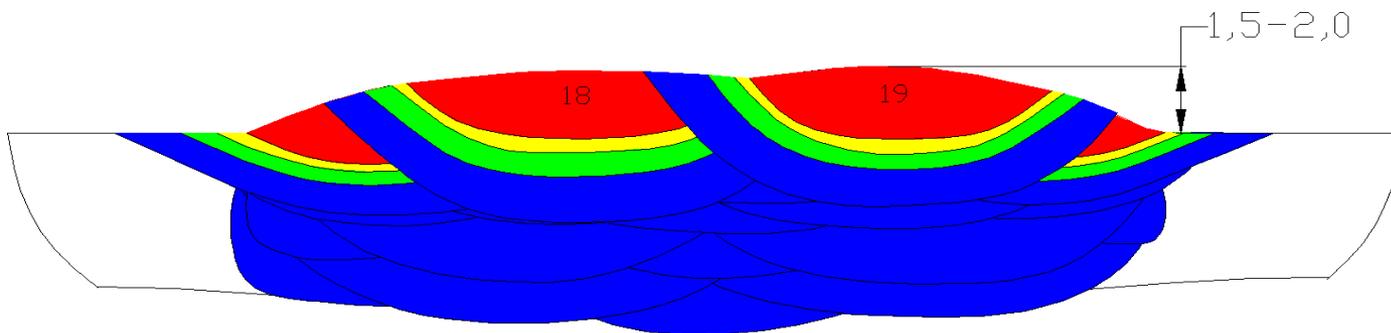


Физическая модель ААДС при выполнении усиления сварного шва высотой 4-5 мм

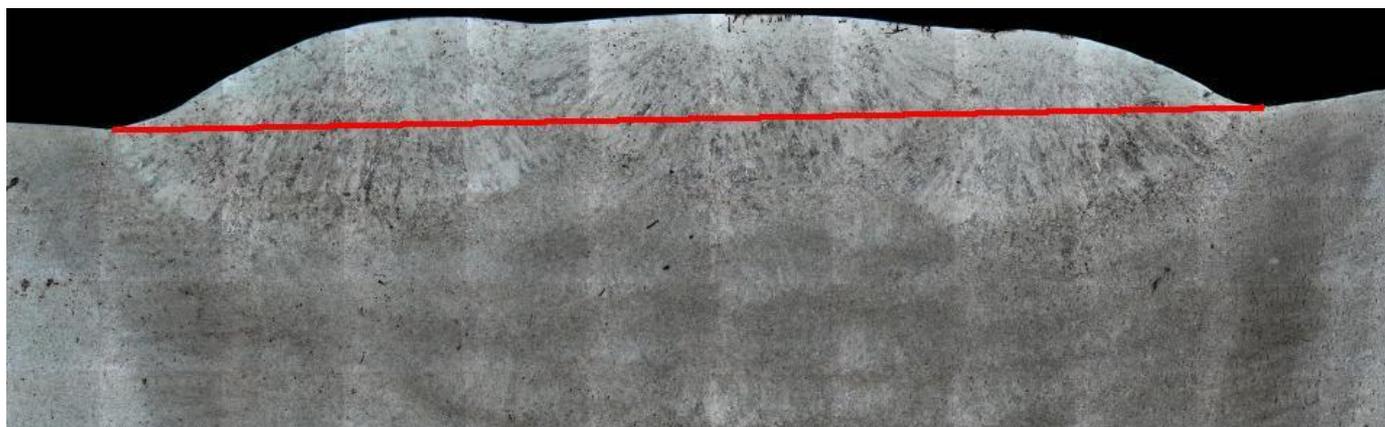


Микроструктура сварного соединения с высотой усиления шва 4-5 мм

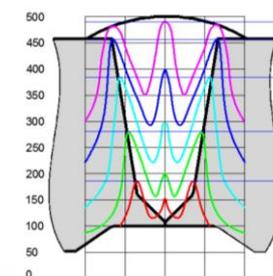
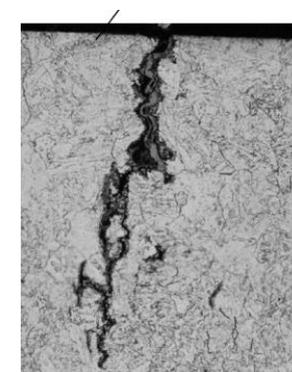




Физическая модель ААДС при выполнении усиления
сварного шва высотой 1,5-2,0 мм



Микроструктура сварного соединения с высотой усиления шва 1,5-2,0 мм





Макроструктура сварного соединения
изготовленного из ПКСС ГЦТ

№ п.п	Механические свойства металла шва	Требование ПН АЭ Г-7-010-89; ПН АЭ Г-7-002-86*	Фактические результаты испытаний
1	Предел прочности (+ 20°C)	не менее 539 МПа	578-650 МПа
2	Предел прочности (+ 350°C)	не менее 490 МПа	646-670 МПа
3	Относительное удлинение (+ 20°C)	не менее 16 %	21,0-24,0 %
4	Относительное удлинение (+ 350°C)	не менее 14 %	19,0-21,0 %
5	Относительное сужение (+ 20°C)	не менее 55 %	63,0-74,0 %
6	Относительное сужение (+ 350°C)	не менее 50 %	55,0-78,0 %
7	Угол загиба сварных соединений	не менее 60°	62,0-65,0°
8	Значение ударной вязкости (+ 20°C) (KCV)* (металл шва)	не менее 39 Дж/ см ²	170,0-205,0 Дж/ см ²
9	Значение ударной вязкости (+ 350°C) (KCV)* (металл шва)	не менее 59 Дж/ см ²	242,0-323,0 Дж/ см ²
10	Значение ударной вязкости (+ 20°C) (KCV)* (линия сплавления)	не менее 39 Дж/ см ²	202,0-282,0 Дж/ см ²
11	Значение ударной вязкости (+ 350°C) (KCV)* (линия сплавления)	не менее 59 Дж/ см ²	245,0-369,0 Дж/ см ²
12	Значение ударной вязкости (+ 20°C) (KCV)* (околошовная зона)	не менее 39 Дж/ см ²	152,0-219,0 Дж/ см ²
13	Значение ударной вязкости (+ 350°C) (KCV)* (околошовная зона)	не менее 59 Дж/ см ²	172,0-207,0 Дж/ см ²
14	Определение критической температуры хрупкости (Т _{ко})	Не более +15 °С	-100 °С



ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Открытое акционерное общество
«Научно-исследовательский и конструкторский институт
монтажной технологии - Атомстрой»
(ОАО «НИКИМТ-Атомстрой»)

СОГЛАСОВАНО

ОАО «Концерн Росэнергоатом»
Заместитель Генерального директора –
Директор по производству и эксплуатации АЭС
А.В. Шутиков
Письмо №9/04/2142 от 24.04.2012

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель НИКИМТ
В.С. Попов
«24» апреля 2012 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ АРГОНОДУГОВАЯ СВАРКА
МОНТАЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГЛАВНОГО
ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА Ду 850
БЛОКА № 1, №2 НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС-2
ТИ 2-501-2012**

Дата введения 24.04.2012

СОГЛАСОВАНО

Заместитель генерального директора –
Директор Института сварки и контроля
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»
Ю.С. Волобуев
Письмо №234-05/2323 от 30.04.2015

СОГЛАСОВАНО

ОАО ОКБ «Гидропресс»
Главный конструктор – Начальник отделения
О.П. Архинов
Письмо № 044/10-35/3514 от 28.03.2012

Начальник Научно-технического управ-
ления производственных технологий
НИКИМТ
В.А. Хаванов
«24» апреля 2012 г.

Продолжение на следующем листе

ТИ 2-501-2012

Продолжение титульного листа
«АВТОМАТИЧЕСКАЯ АРГОНОДУГОВАЯ СВАРКА
МОНТАЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГЛАВНОГО ЦИРКУЛЯ-
ЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА Ду 850 БЛОКА № 1, №2
НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС-2» ТИ 2-501-2012

СОГЛАСОВАНО

ОАО «ВНИИАЭС»
Заместитель Генерального директора
В.В. Потапов
Письмо № 150/5603 от 20.06.2012

СОГЛАСОВАНО

ОАО «Атомэнергопроект»
Заместитель Генерального директора – Директор
по сооружению строительства
С.П. Батухтин
Письмо № 02-01/11710/99-12.22 от 19.04.2012

СОГЛАСОВАНО

Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом»
«Дирекция строящейся Нововоронежской АЭС-2»
Директор филиала С.В. Петров
Письмо №02-04/2954 от 23.04.2012

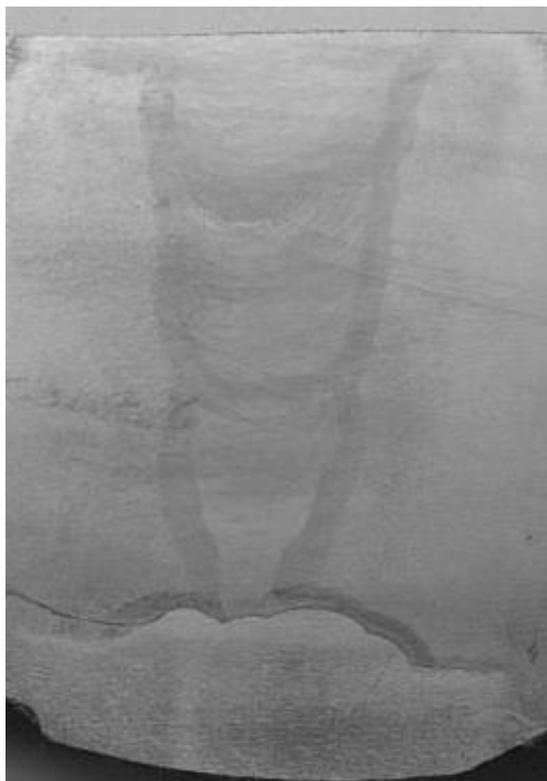
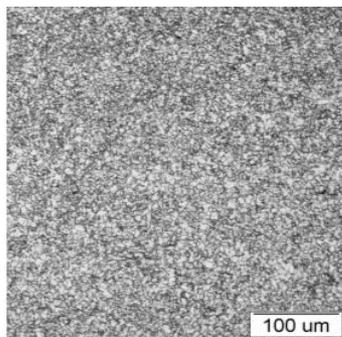
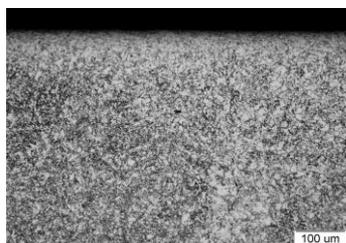
СОГЛАСОВАНО

ОАО «Энергоспецмонтаж»
Первый заместитель генерального
директора – главный инженер С.В. Булгаков
Письмо №043/496 от 15.03.2012

Э.П.П. № 6299

Э.П.П. № 6299

Металлографические исследования сварных соединений ГЦТ, выполненных с применением различных технологий сварки



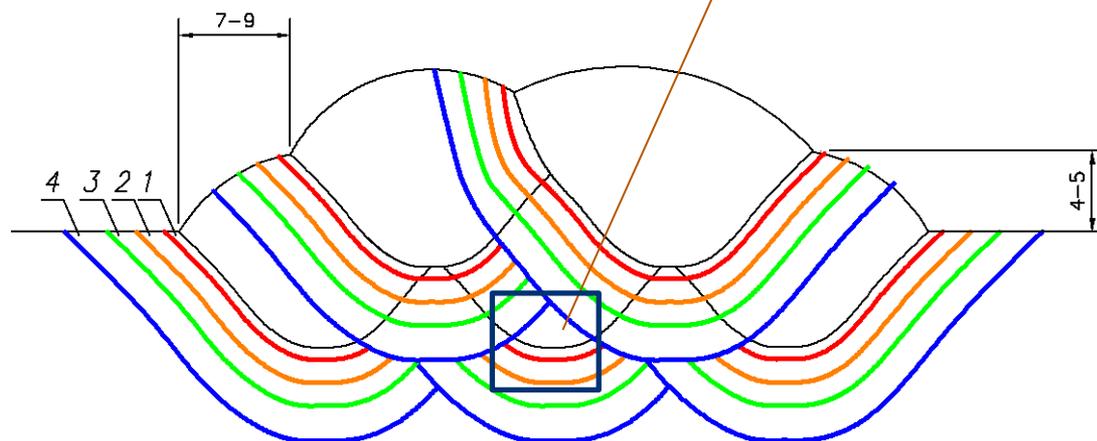
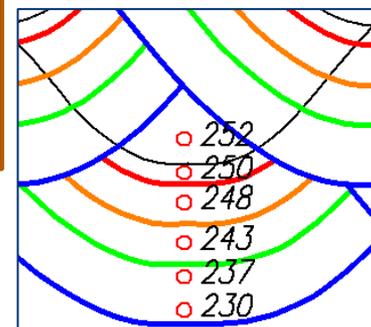
Автоматическая аргонодуговая сварка (ААДС)

Ручная электродуговая сварка (РДС)



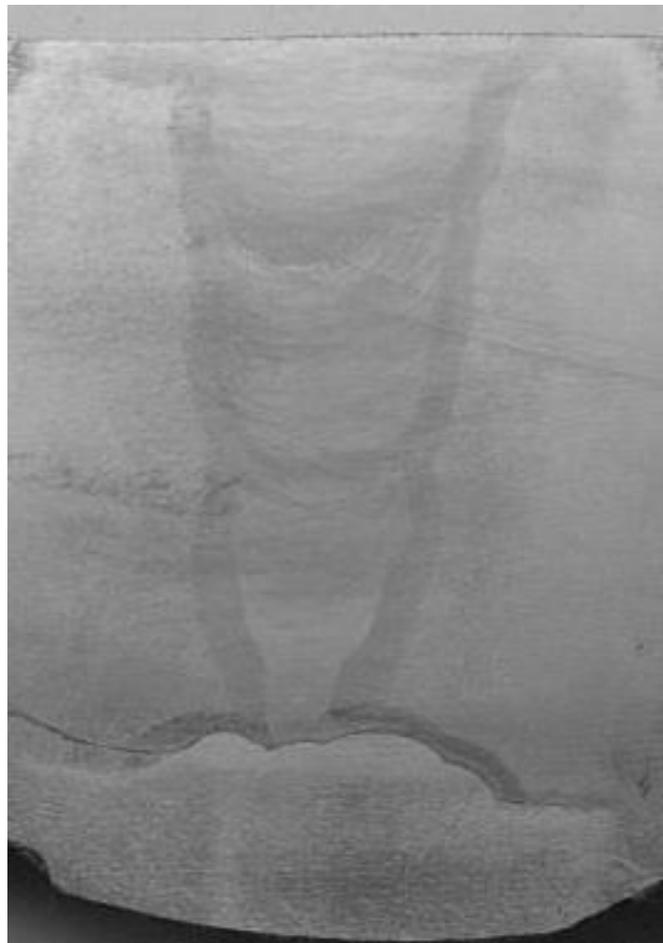
Макроструктура сварного соединения, выполненного РДС

Распределение микротвердости в зависимости от структурной составляющей



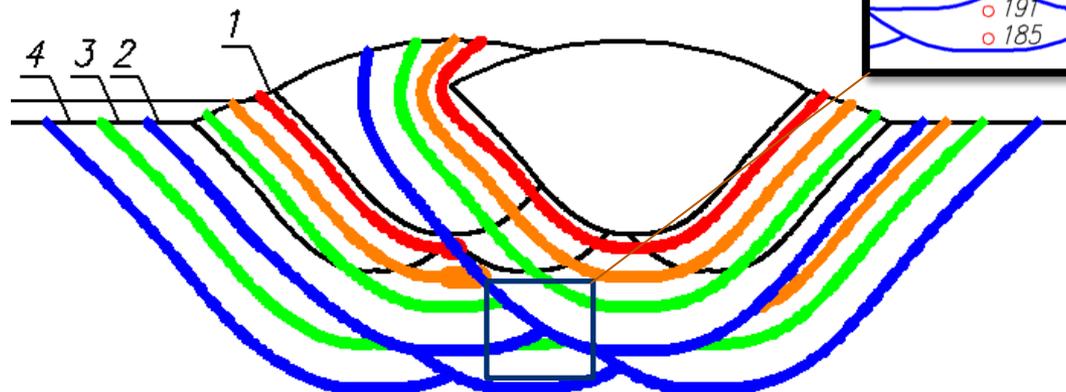
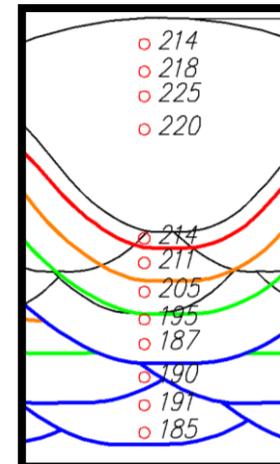
- 1 - участок неполного расплавления (до 1500 С)
- 2 - участок перегрева (1500–1100 С)
- 3 - участок нормализации (1100–900 С)
- 4 - участок неполной перекристаллизации (900–700 С)

Распределение характерных температур при формировании сварного шва



Макроструктура монтажного соединения ГЦТ (990x70 мм), выполненного ААДС

Распределение микротвердости в зависимости от структурной составляющей



- 1 – участок неполного расплавления (до 1500 С)
- 2 – участок перегрева (1500–1100 С)
- 3 – участок нормализации (1100–900 С)
- 4 – участок неполной перекристаллизации (900–700 С)

Распределение характерных температур при формировании сварного шва

Автоматизация ремонта трубопроводов КМПЦ



АО «НИКИМТ-Атомстрой»	080400.325200ТИ6526214-08621468	РО	
	080400.325200ЛУ6520001-08621488		

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
АО «НИКИМТ-Атомстрой»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора по производству и эксплуатации АЭС – директор Департамента по техническому обслуживанию, ремонту и монтажу АЭС ОАО «Концерн Росэнергоатом»
А.Г. Крупский
« 27 » 07 2015 г.

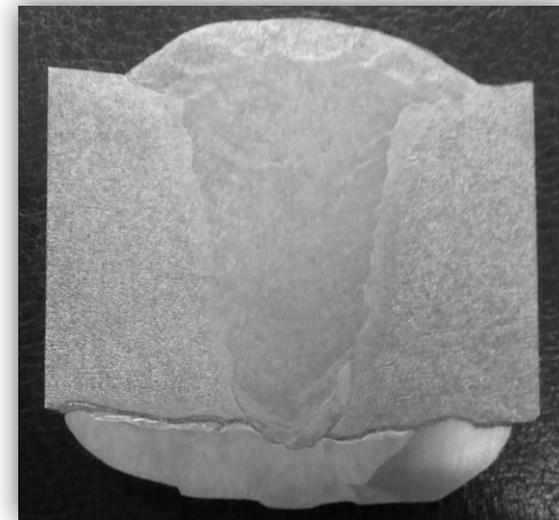
КОНТУР МНОГОКРАТНОЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ. РЕМОНТ. СВАРКА АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕМОНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ ДУ800 КОНТУРА МНОГОКРАТНОЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ИЗ ПЛАКИРОВАННЫХ ПЕРЛИТНЫХ СТАЛЕЙ ЭНЕРГООБЛОКОВ С РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ РЕМК-1000

ТИПОВАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ

СОГЛАСОВАНО ОАО «НИКИМТ» Главный конструктор ЗКРУ-Директор отделения – А.А. Петров Письмо от 30.04.2014 № 240-02/5142	РАЗРАБОТАНО Директор НИКИМТ <i>С.С. Попова</i> « 28 » 07 2015 г.
СОГЛАСОВАНО Главный технолог Департамента по техническому обслуживанию, ремонту и монтажу АЭС <i>В.А. Карась</i> « 27 » 07 2015 г.	Начальник центра технического управления сварочных технологий <i>В.А. Хаванов</i> « 30 » 07 2015 г.
Начальник отдела технического обслуживания и ремонта оборудования АЭС <i>С.В. Мельников</i> <i>К.Г. Шапса</i> « 28.08.07 » 2015 г.	Начальник Научно-исследовательского и конструкторского отдела сварки в ядерной технологии <i>В.Н. Хорев</i> « 30 » 07 2015 г.

КОНТРОЛЬНЫЙ ЭКЗЕМПЛЯР

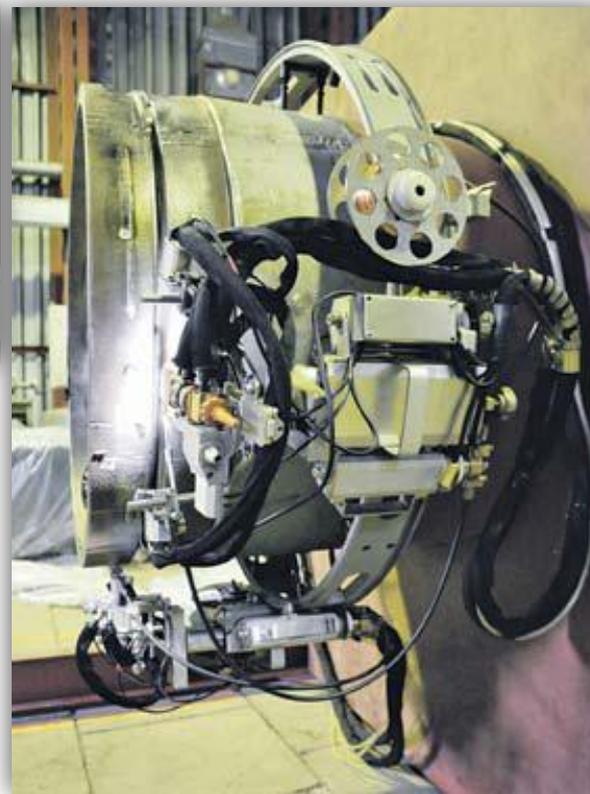
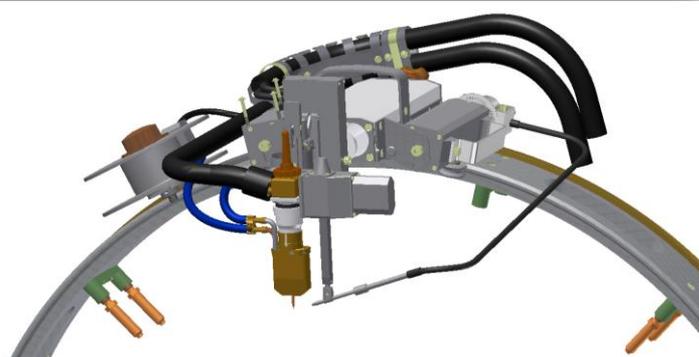
пу | Сварка автоматическая ремонтных соединений трубопроводов Ду800 КМПЦ



Макроструктура ремонтного соединения КМПЦ (836x42 мм), выполненного ААДС

Комплекс оборудования для автоматизированного дистанционного ремонта трубопроводов КМПЦ АЭС РБМК

Автоматизация ремонта трубопроводов КМПЦ

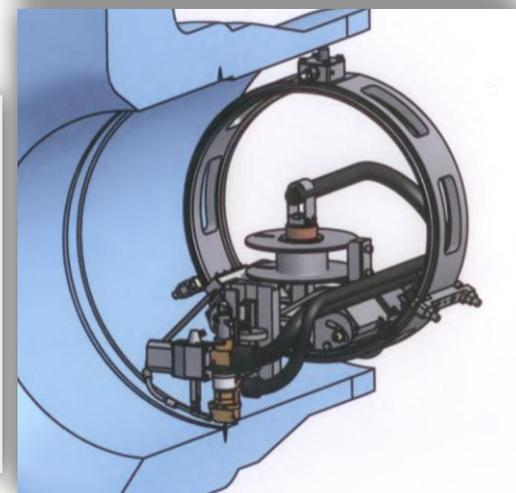
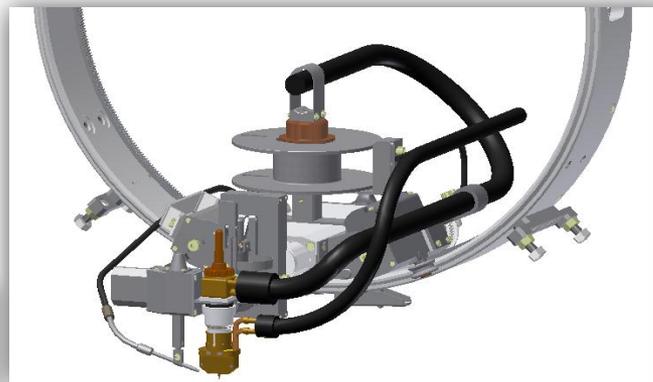


Комплекс оборудования для автоматизированного дистанционного ремонта трубопроводов КМПЦ АЭС РБМК

Автоматизация ремонта трубопроводов КМПЦ



**Внутритрубный
сварочный автомат СА706**



Производство оборудования

В АО «НИКИМТ-Атомстрой» развернуто производство широкого спектра оборудования начиная от небольших сварочных головок корпусного типа и заканчивая стационарными установками для сварки крупногабаритных изделий специального назначения диаметром свыше 1200 мм.



Производство оборудования

Полный цикл производства всех составных частей оборудования, в том числе сложнейших систем управления, вот что выгодно отличает АО «НИКИМТ-Атомстрой». На нашем Предприятии разработано несколько типов систем управления в зависимости от типа оборудования и потребностей Заказчика, в том числе со сварочным источником собственного производства (на фото слева).



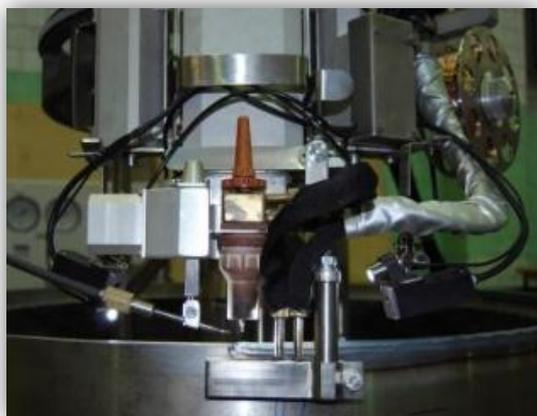
Типы сварочного оборудования

Камера объемом 3м³ имеет три перчаточных узла и три смотровых окна с одной стороны, один перчаточный узел и смотровое окно – с другой, предназначенные для слесаря-сборщика, помогающего сварщику передвигать конструкцию, поддерживать ее во время прихватов и удерживать во время сварочных работ. В ходе испытаний с использованием аргона высокой чистоты и аргона высшего сорта, применяемого заказчиком, были заварены контрольные образцы.



Камера для сварки и наплавки элементов конструкции самолетов из титановых сплавов в контролируемой атмосфере

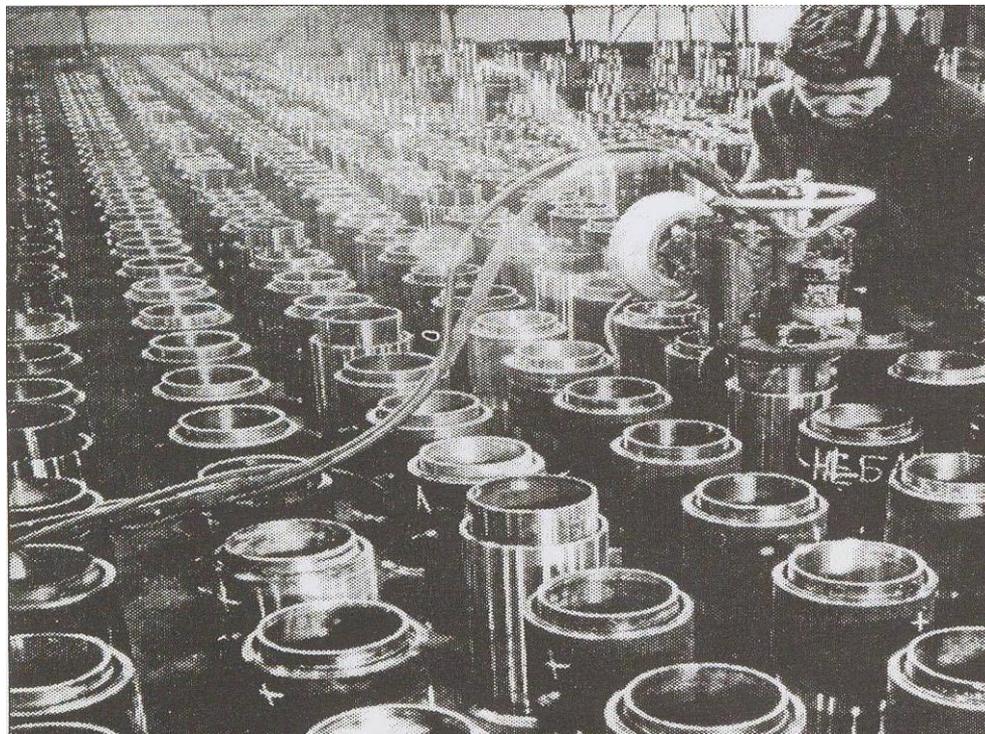
Типы сварочного оборудования



Комплекс установок для герметизации пеналов в КПП-2 сухого хранилища

Автоматизация сварки при сооружении АЭС РБМК

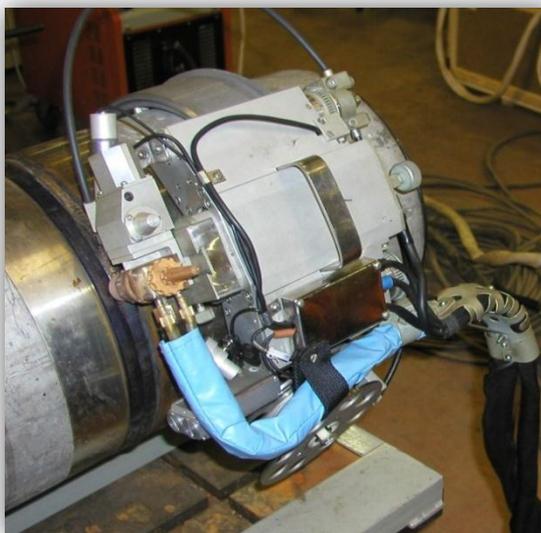
Наиболее ярким примером эффективной деятельности в этом направлении может служить масштабное использование сварочного оборудования НИКИМТ при сооружении радиохимических производств и при монтаже РУ РБМК автоматизация сварки трубопроводов на этих объектах достигала 80-90%.



**Вварка труб в решетку «ОР»
автоматом СА-118**

Орбитальная сварка

Примером эффективного решения НИКИМТом задачи автоматизации орбитальной сварки может служить ремонт трубопроводов Ду300 РУ РБМК, когда за период с 2001 по 2007 год по разработанным НИКИМТом усовершенствованным технологиям ремонтной сварки с использованием комплексов СА-673 было отремонтировано на САЭС, КуАЭС, ЛАЭС более 1200 сварных соединений Ду300.



Сварочный комплекс СА-673

Автоматизация сварки при изготовлении ТВЭЛов

Одной из уникальных разработок АО «НИКИМТ-Атомстрой» является технология герметизации изделий дугой, управляемой магнитным полем (ДУМП). НИКИМТ – ведущее отраслевое предприятие в этом направлении, а особой гордостью является разработка, изготовление и поставка сложнейшего, полностью автоматизированного, комплекса СА-709 в рамках реализации проекта по созданию линии производства МОКС-топлива на ФГУП «ГХК».



Сварочный комплекс СА-709

Автоматизация при изготовлении ТВЭЛов

Наше предприятие занимается изготовлением нестандартного автоматизированного оборудования. Наиболее ярким примером в этой области является, не имеющий аналогов в отечественной практике, комплекс установок для навивки и приварки дистанционирующей проволоки на твэлы, разработанный, изготовленный и поставленный ФГУП «ГХК» (проект по МОКС-топливу) силами АО «НИКИМТ-Атомстрой» в 2014 году. Комплекс работает в составе производственной линии полностью в автоматическом режиме, выполняя непрерывную навивку и привару проволоки различного сечения.



Сварочный комплекс СА-710, СА-711



НИКИМТ-АТОМСТРОЙ

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»



РОСАТОМ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!