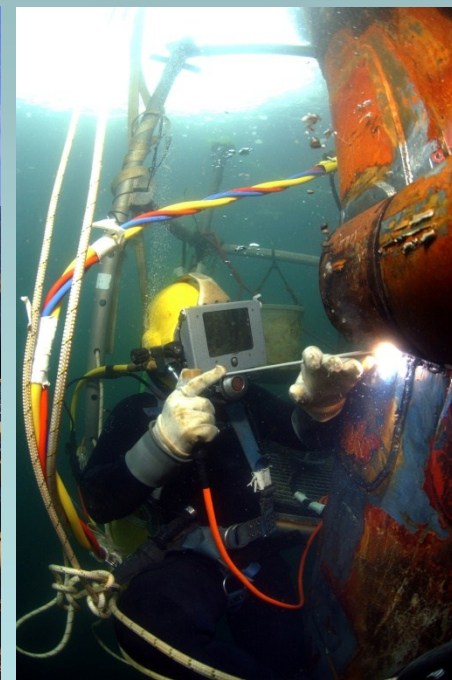


С.Г. Паршин, А.М. Левченко, А.С. Майстро
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого

С.П. Севостьянов, Д.А. Копылов, Р.О. Рамусь
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

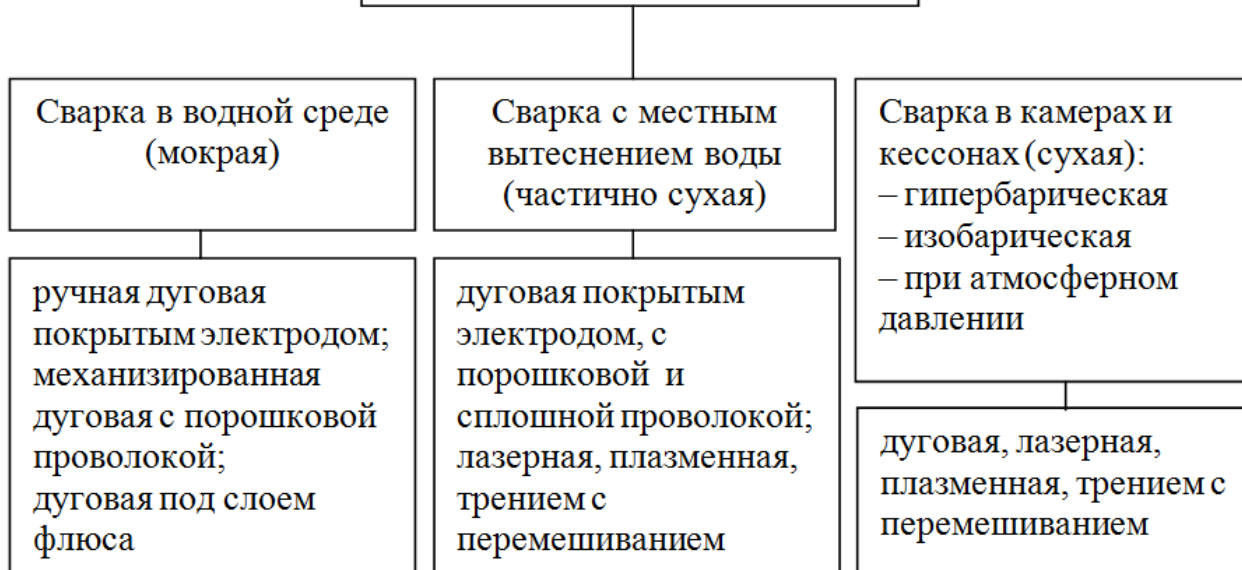
Технологии и сварочные материалы для ремонта подводных газопроводов



Способы подводной и гипербарической сварки



Способы подводной сварки



Проблемы подводной и гипербарической сварки

Проблемы мокрой сварки в воде

Изменение химического состава и микроструктуры шва:

- окисление и выгорание C, Mn, Si;
- высокая скорость охлаждения;
- неравномерность химсостава;
- образование закалочных структур.

Увеличение диффузионного и остаточного водорода и неметаллических включений

- наличие парогазового пузыря;
- незавершенность раскисления;
- высокое давление среды.

Низкая стабильность горения дуги

- высокое напряжение ХХ и дуги;
- пульсация парогазового пузыря;
- ухудшение капельного переноса;
- увеличение отклонений $I_{св}$, U_d .

Высокая вероятность холодных трещин (ХТ)

- высокий уровень водорода;
- наличие закалочных структур;
- наличие сварочных напряжений

Ухудшение механических свойств сварных швов

- шлаковые включения, поры и непровары;
- химическая неоднородность шва

Проблемы гипербарической сварки

Изменение химического состава и микроструктуры шва:

- окисление и выгорание C, Mn, Si;
- изменение теплофизических свойств газовой смеси.

Увеличение диффузионного водорода и неметаллических включений

- высокое давление и влажность среды;
- увеличение температуры сварочной ванны

Низкая стабильность горения дуги

- высокое давление среды;
- сжатие дуги, ухудшение ионизации газа
- ухудшение капельного переноса;
- увеличение отклонений $I_{св}$, U_d .

Высокая вероятность холодных трещин (ХТ)

- высокий уровень водорода;
- наличие закалочных структур;
- наличие сварочных напряжений

Снижение ударной вязкости

- грубая микроструктура;
- неметаллические включения.

Общие проблемы подводной и гипербарической сварки

Отсутствие нормативных документов, регламентирующих порядок работ, технологию и контроль сварных соединений
– AWS 3.6.

Особые и специальные требования по охране труда и технике безопасности

Особые и специальные требования к водолазам-сварщикам

Отсутствие сварочного оборудования для механизированной сварки в воде, покрытых электродов и порошковых проволок

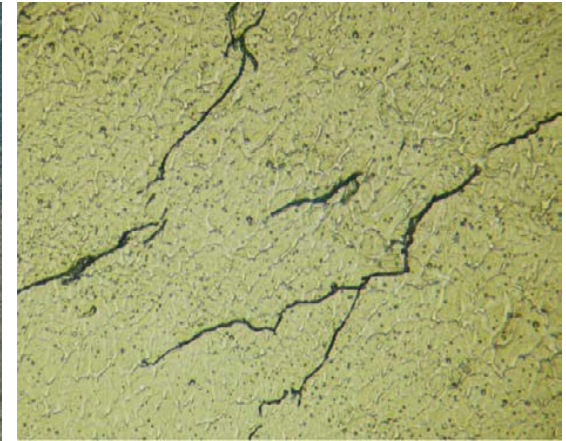
Отсутствие гипербарического оборудования для сварки на глубинах более 30 м, специальных проволок и газовых смесей

Отсутствие специального оборудования для неразрушающего контроля сварных соединений в воде и в гипербарических камерах

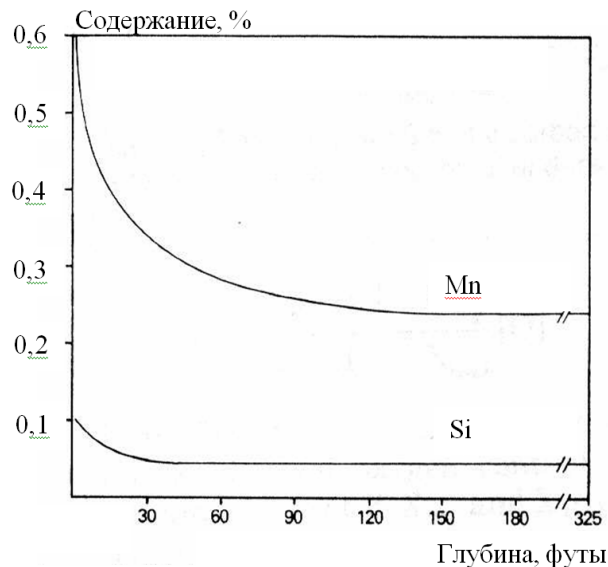
Металлургические проблемы подводной сварки в воде



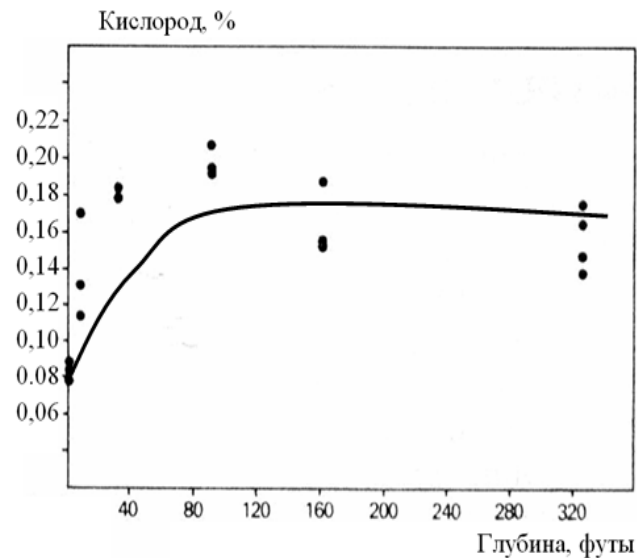
Пористость



Холодные и горячие трещины



Выгорание элементов

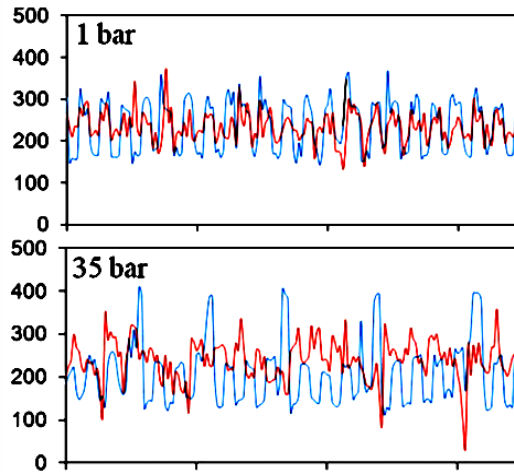


Неметаллические включения

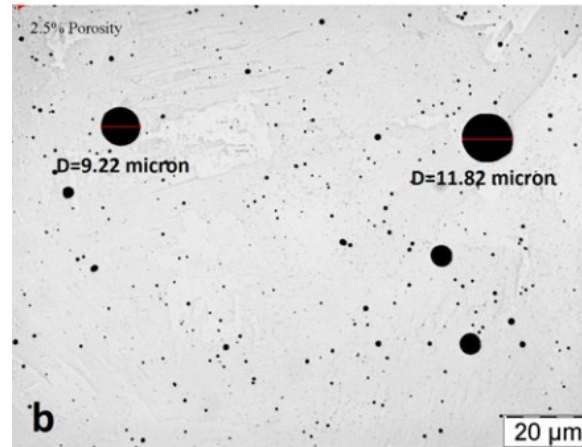


Дефекты формирования

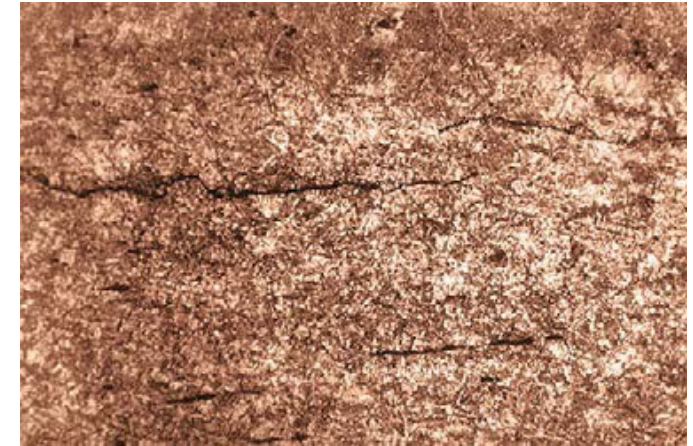
Металлургические проблемы гипербарической сварки



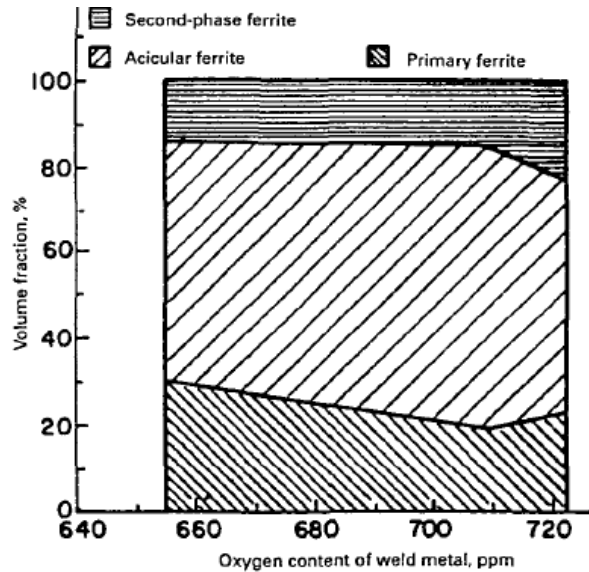
Отклонения $I_{св}$, U_d



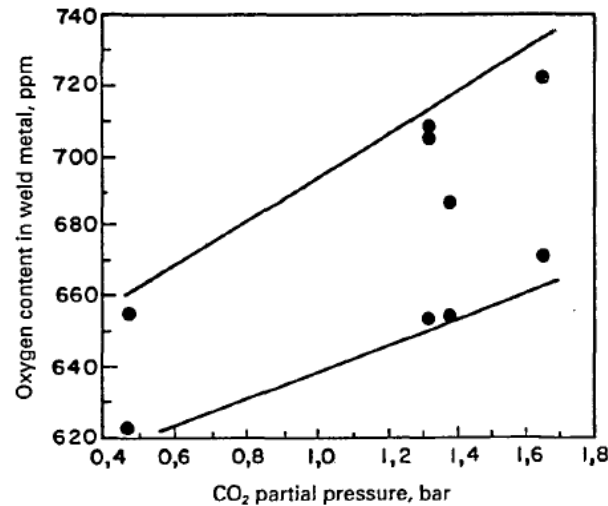
Пористость



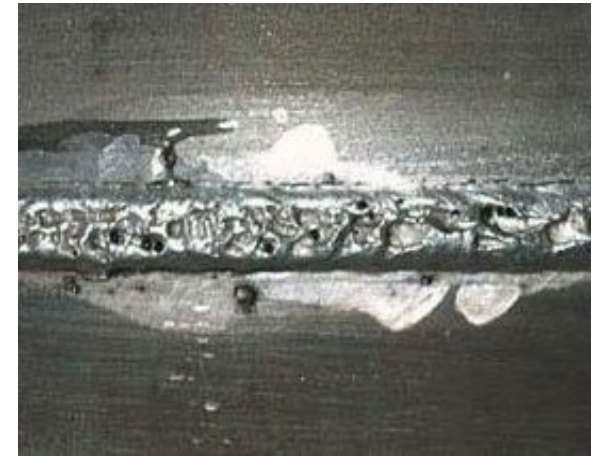
Холодные трещины



Изменение микроструктуры

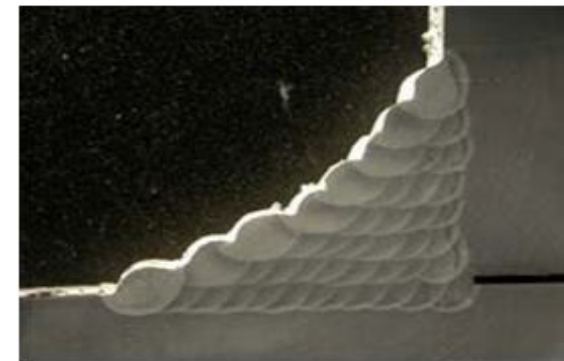
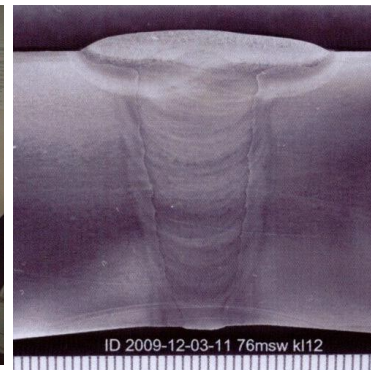
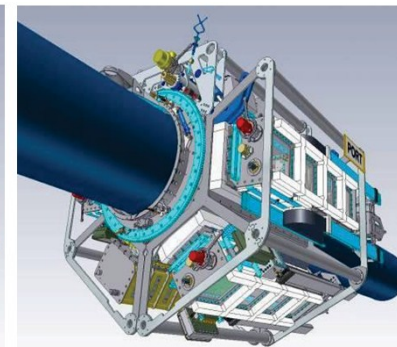
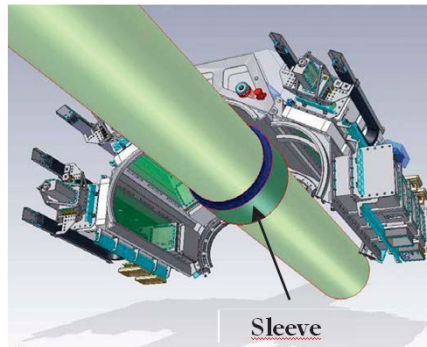
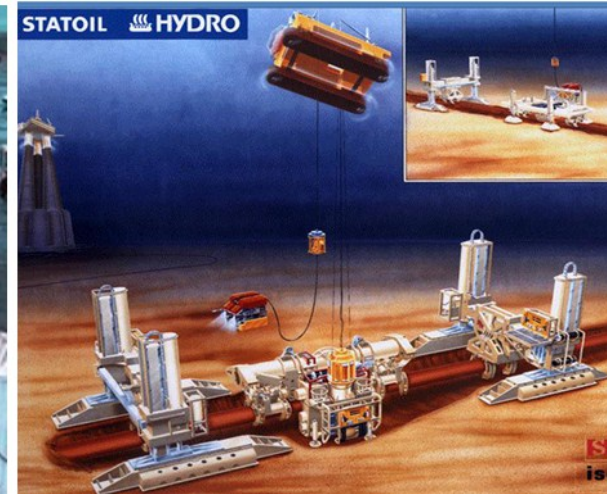


Неметаллические включения

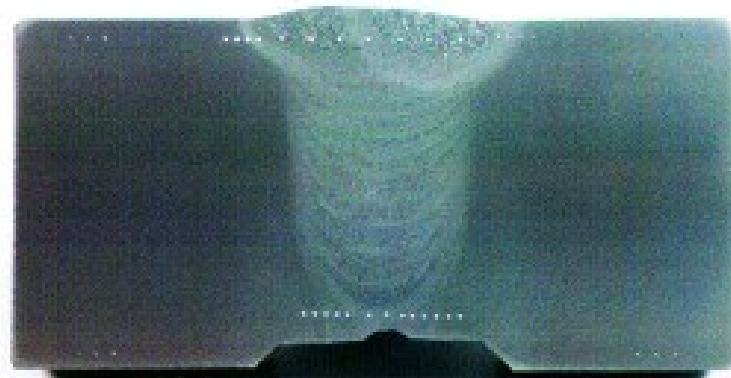
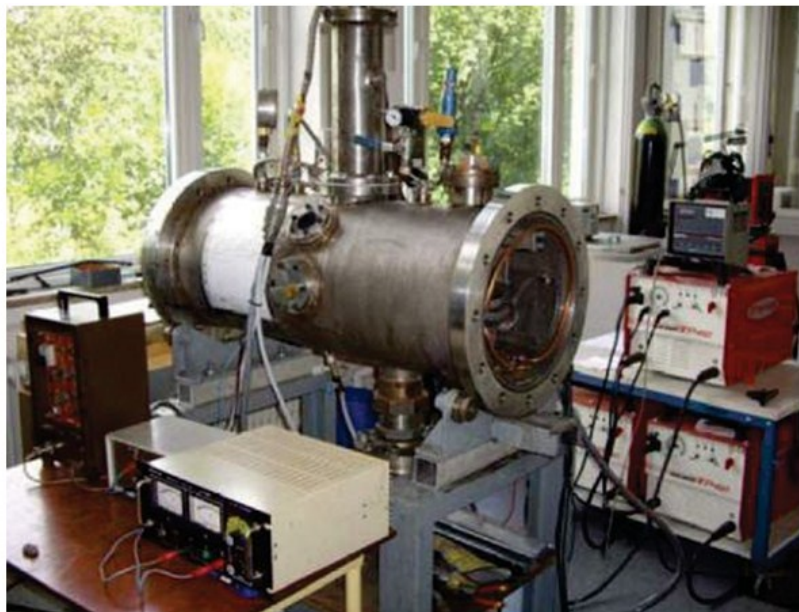
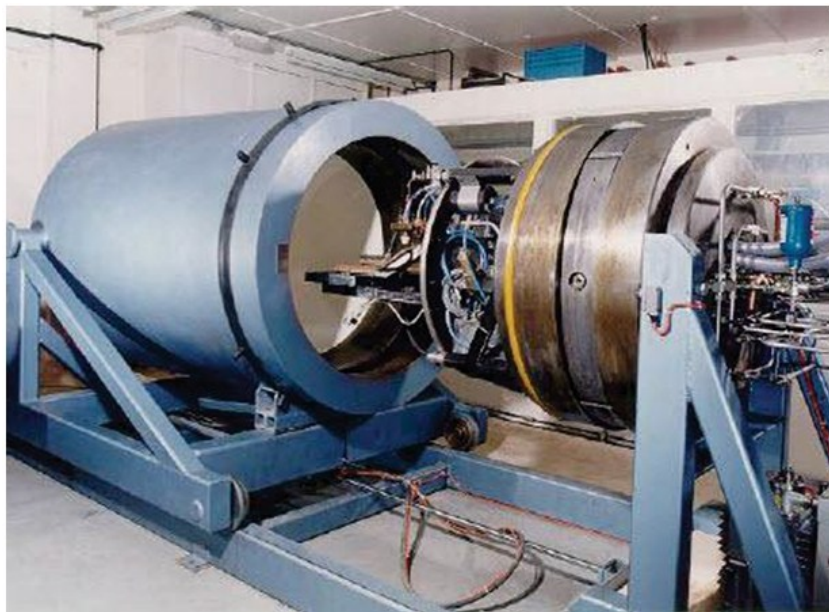


Дефекты формирования

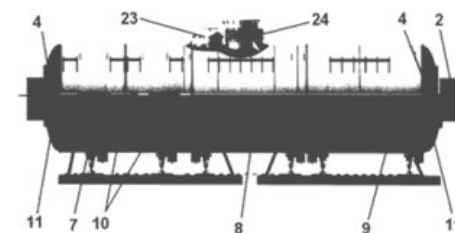
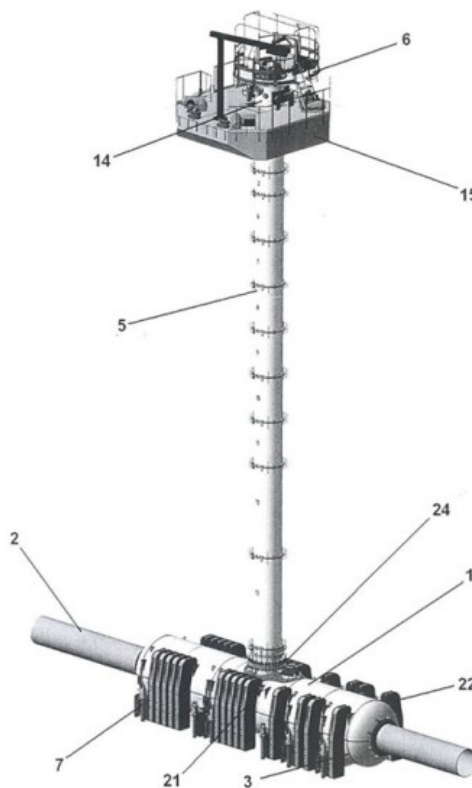
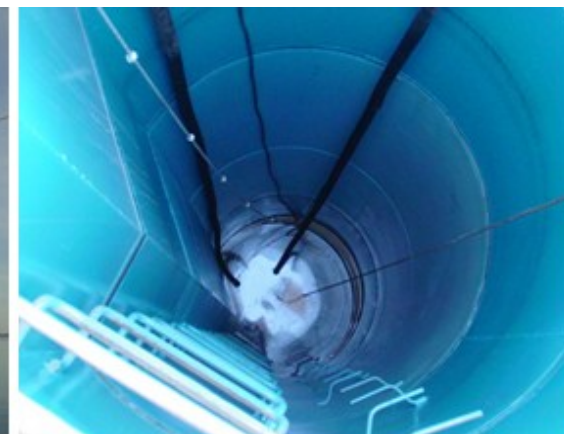
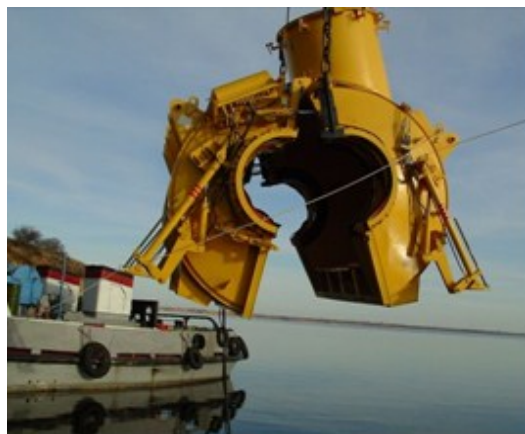
Технология глубоководной гипербарической сварки



Исследовательские центры по гипербарической подводной сварке SINTEF (Норвегия) и Cranfield University (Великобритания)



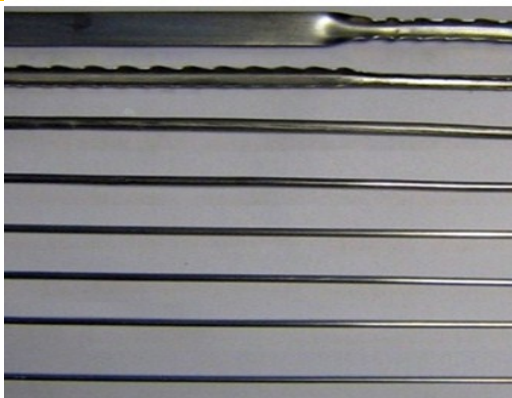
Конструкции российских кессонов и сварочно-монтажных камер для подводной сварки



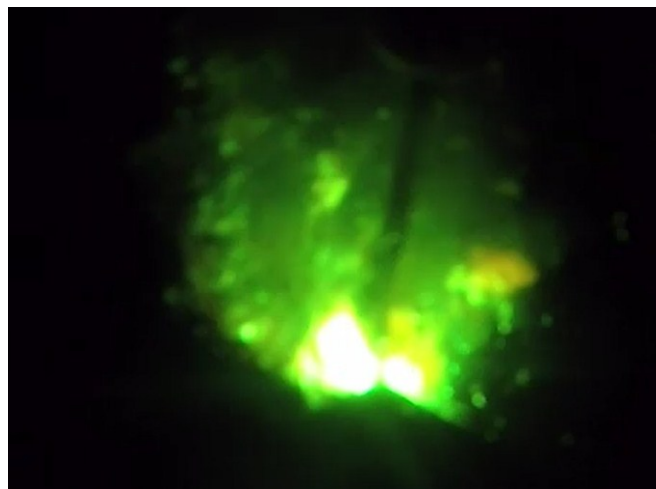
Фиг. 2



Опытные и серийные партии порошковых проволок ППС-АПЛ для подводной сварки (СПбПУ-УНТЦ «Сварка»)

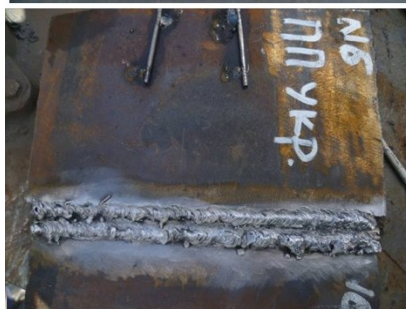


Мобильный комплект для подводной сварки (РСЗ МАЦ)

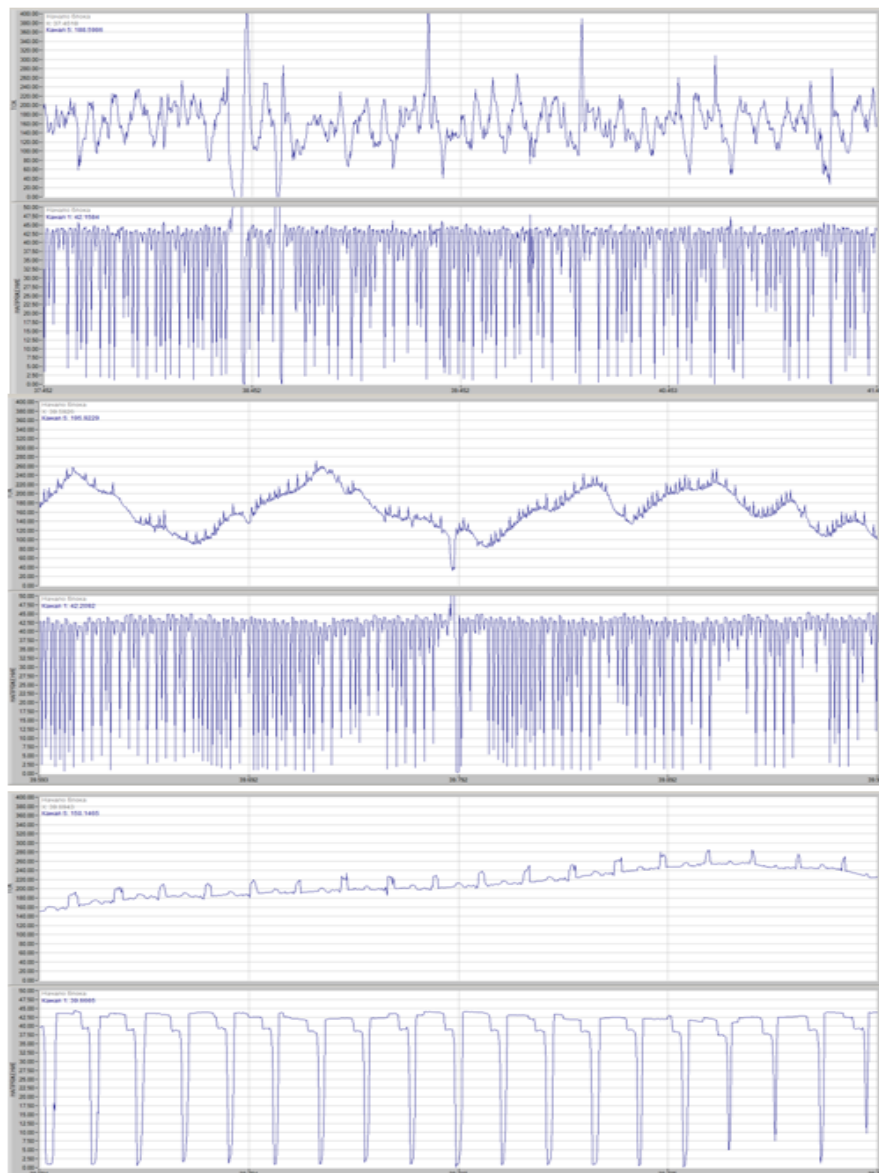




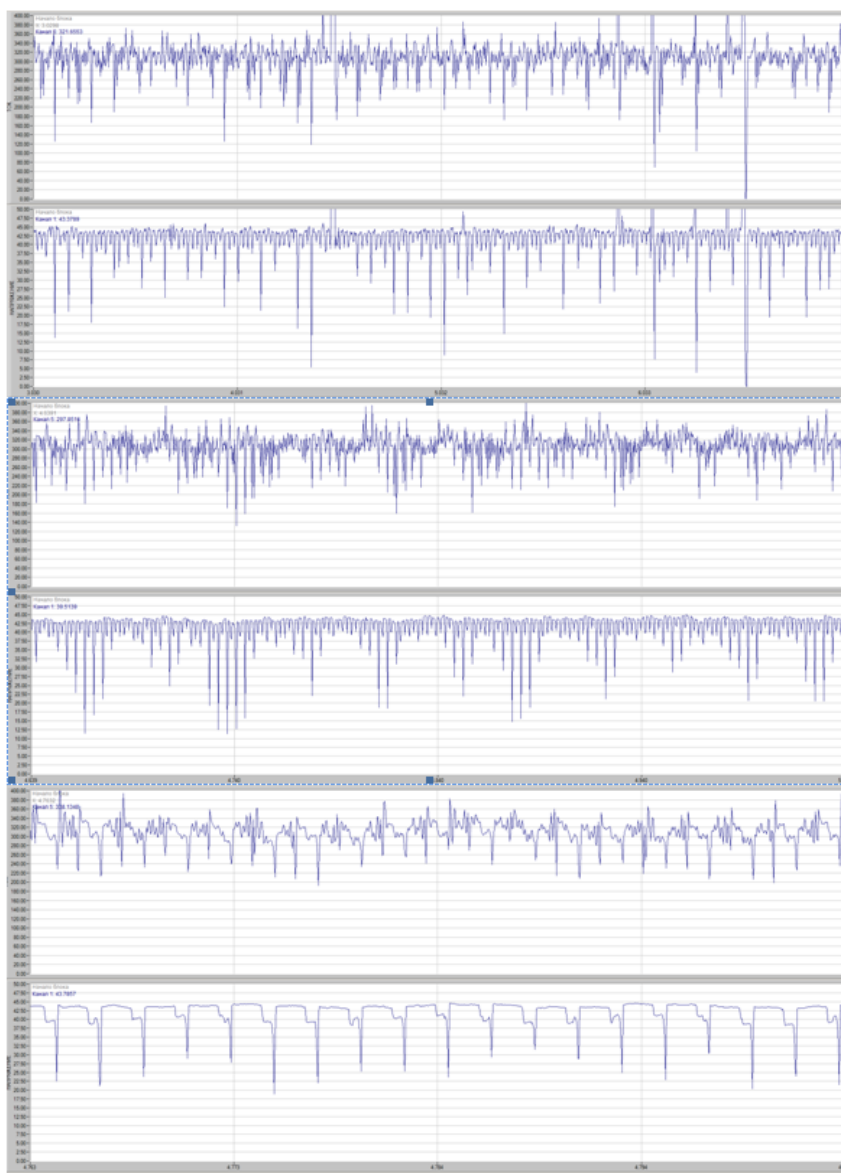
Подводная сварка КСС покрытыми электродами и порошковой проволокой. Сталь К60 толщиной 21,3 мм



Осциллографирование сварочных токов и напряжений

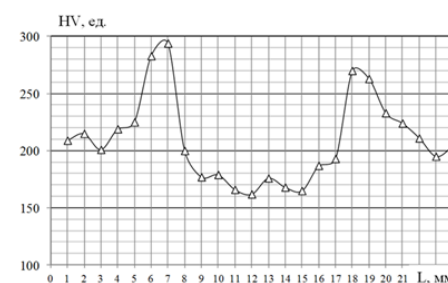
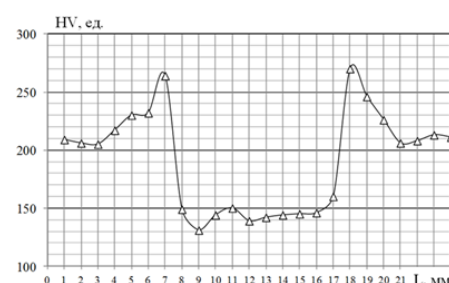
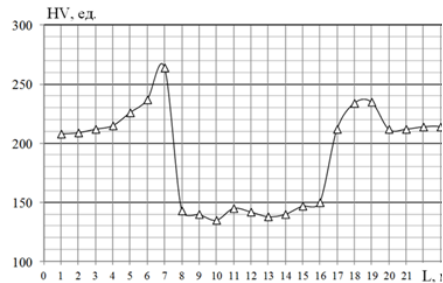
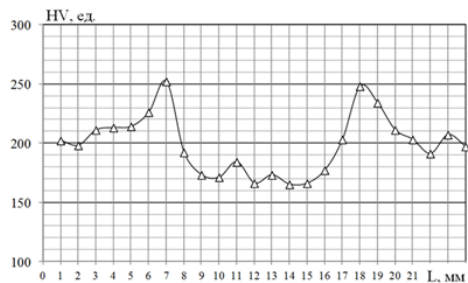
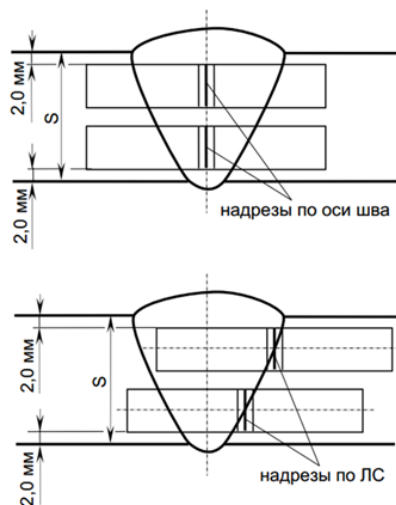
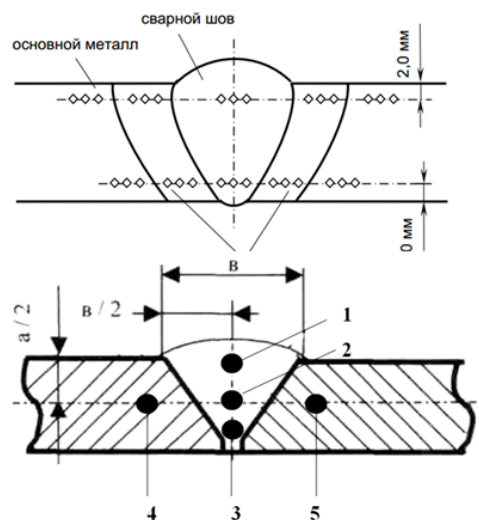


Проволока ППС-АН1 (Украина)



Проволока ППС-АПЛ1 (СПбПУ)

Механические испытания образцов. Сталь К60 толщ. 21,3 мм



Механические свойства сварных соединений

Наименование порошковой проволоки	Предел прочности, σ_B , МПа	Предел текучести, σ_T , МПа	Относительное удлинение, δ , %	Ударная вязкость, Дж/кв.см
Швы с электродами BROCO SOFT	<u>498–545</u> 521,5	<u>360–380</u> 370	<u>8–12</u> 10	<u>68–89</u> 78,5
Швы с проволокой ППС-АН1	<u>371–458</u> 414,5	<u>323–336</u> 329,5	<u>2–11,2</u> 6,6	<u>62–73</u> 67,5
Швы с проволокой ППС-АПЛ2	<u>433–462</u> 447,5	<u>330–350</u> 340	<u>12–16</u> 14	<u>67–98</u> 82,5

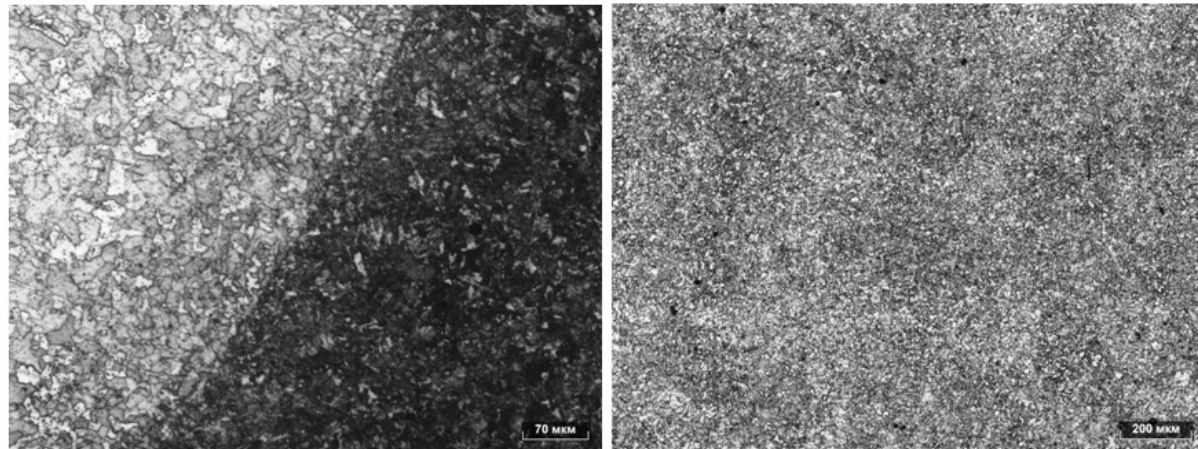
Химический состав наплавленного металла

Образец	Содержание, %					
	C	Si	Mn	Ni	P	S
Основной металл	0,08–0,016	0,28–0,31	1,7–1,8	0,01	0,013	0,0012
Швы с электродами BROCO SOFT марки UW/CS-2	0,061–0,098	0,312–0,359	0,497–0,630	0,055–0,071	0,017	0,008
Швы с ППС-АН1	0,045–0,122	0,0015–0,0028	0,046–0,126	1,1–1,47	0,019	0,013
Швы с ППС-АПЛ1	0,014–0,053	0,005–0,01	0,05–0,19	0,74–0,93	0,016	0,0093
Швы с ППС-АПЛ2	0,026–0,19	0,0015–0,018	0,27–0,52	0,9–1,6	0,015	0,01

Металлографические исследования

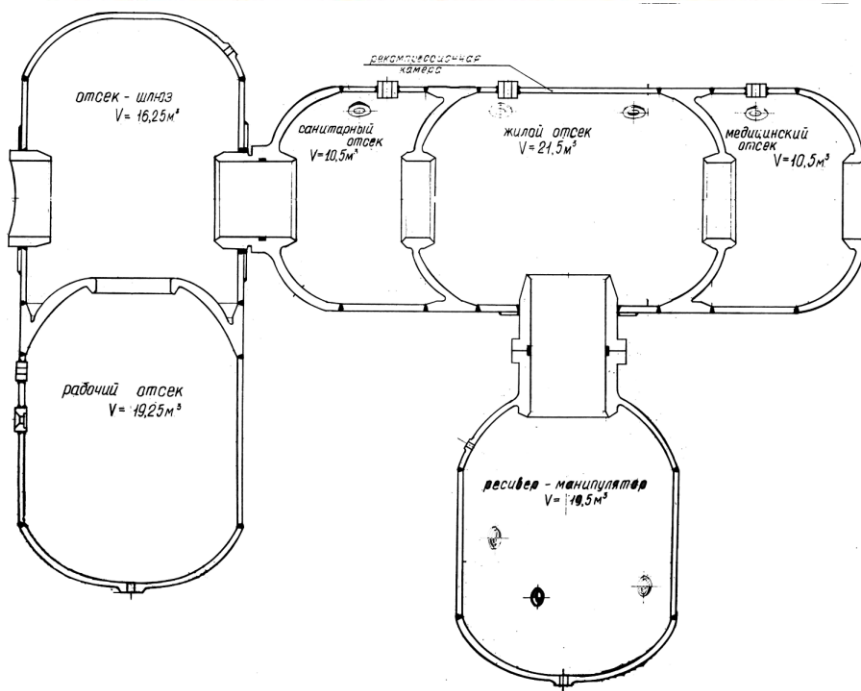
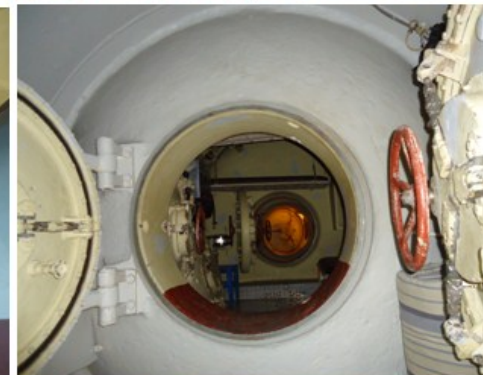
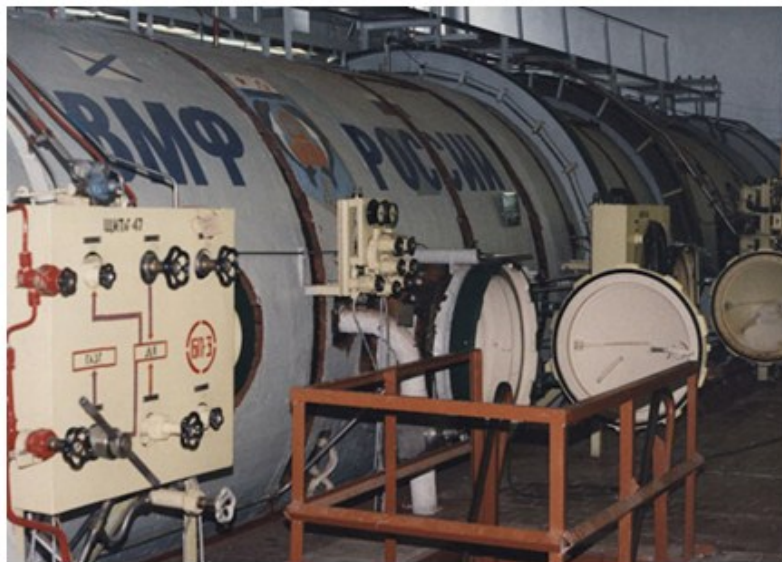


Макроструктура сварных соединений газопровода диаметром 1220 мм с толщиной стенки 21,3 мм из стали К60 при подводной механизированной сварке с порошковой проволокой ППС-АПЛ2 (СПБПУ)

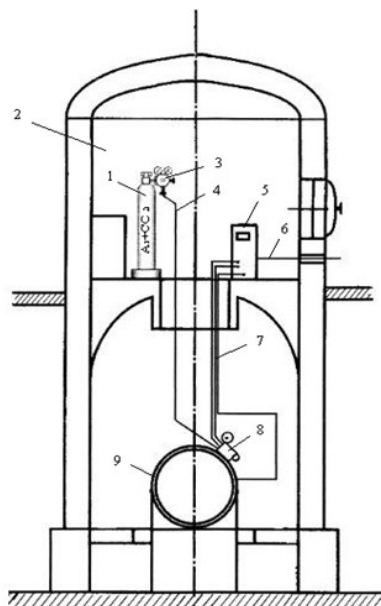


Микроструктура сварного шва при подводной механизированной сварке с порошковой проволокой ППС-АПЛ2 (СПБПУ)

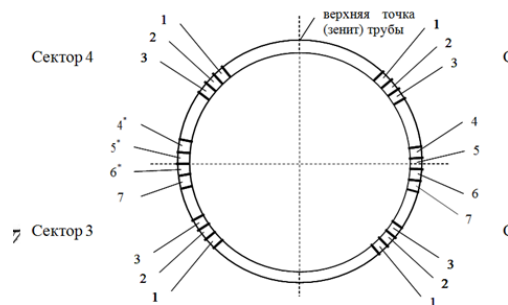
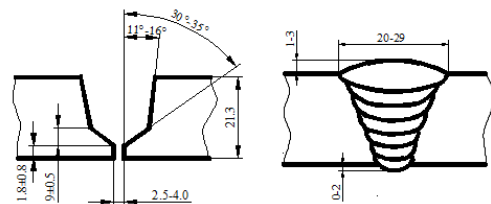
Гипербарические комплексы ГБК-50 и ГРК-30 (40-й НИИ ВМФ)



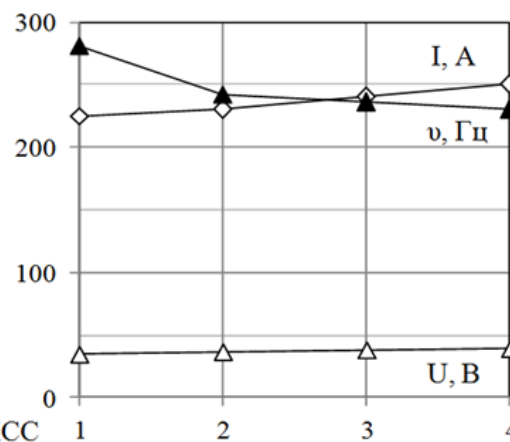
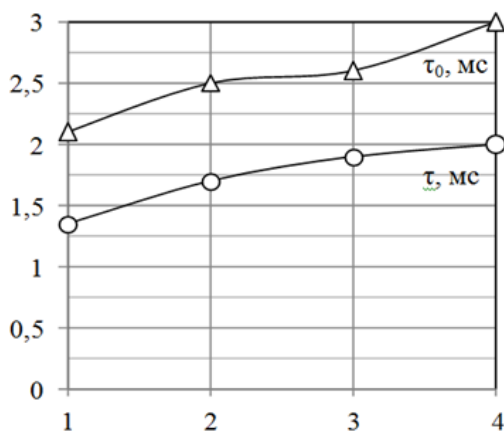
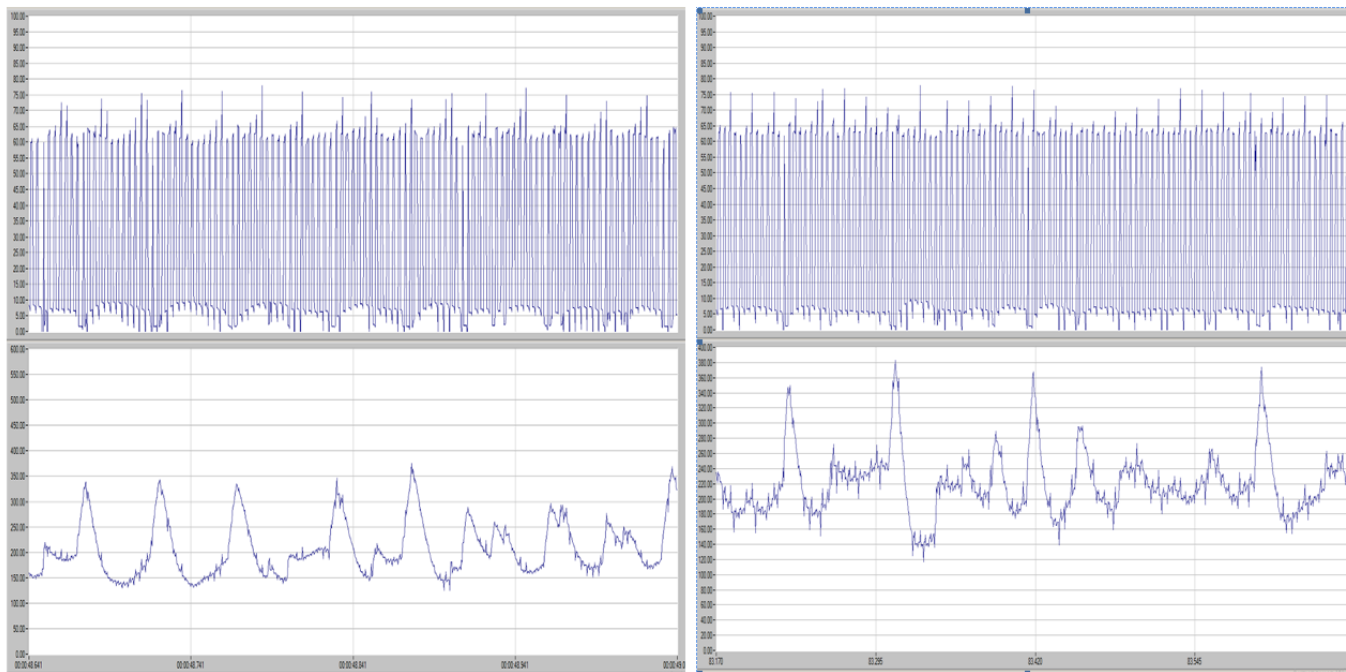
Гипербарическая сварка КСС во НИИ ВМФ г. Ломоносов



Вид пульта управления ГРК-30 с 9 видеокамерами непрерывной видеозаписи рабочего процесса



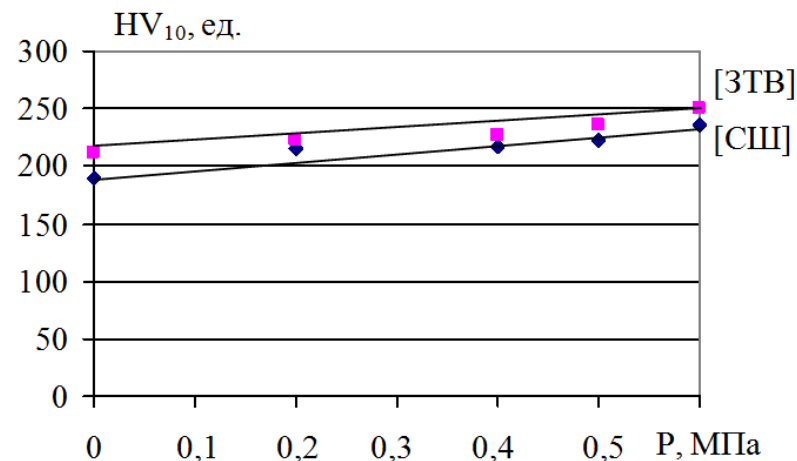
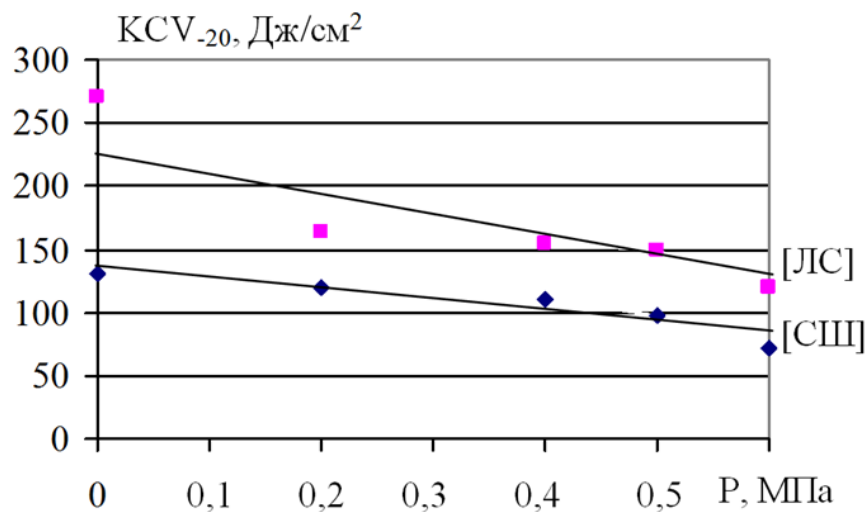
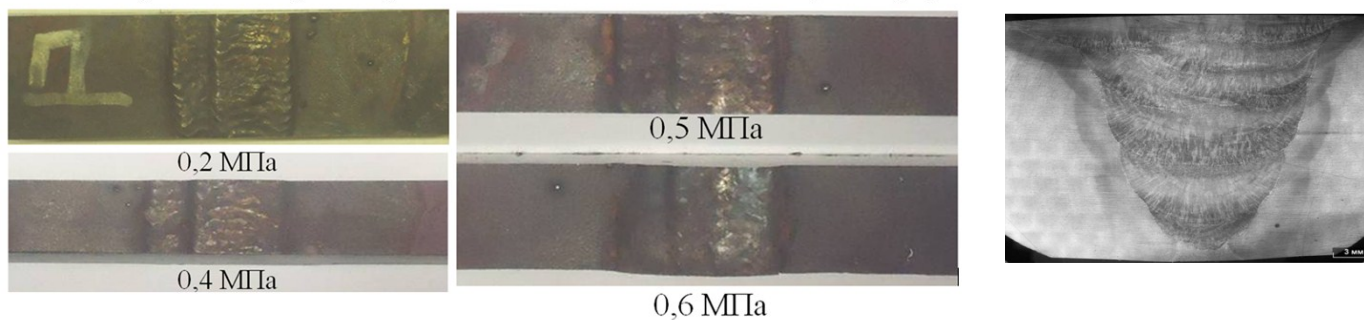
Осциллографирование при гипербарической сварке при давлении среды 0,1-0,6 МПа



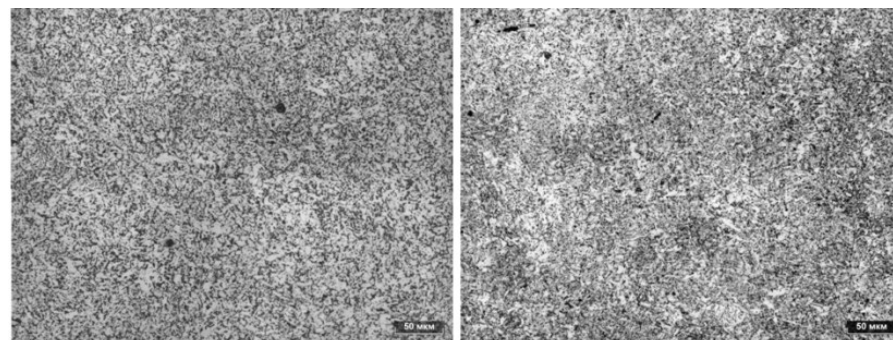
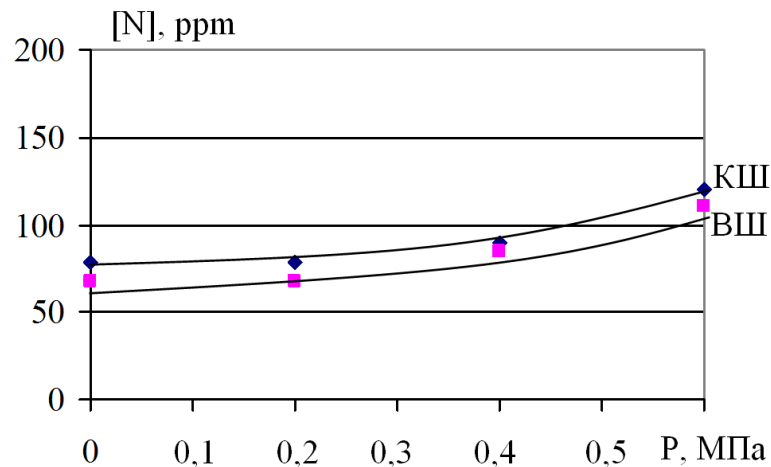
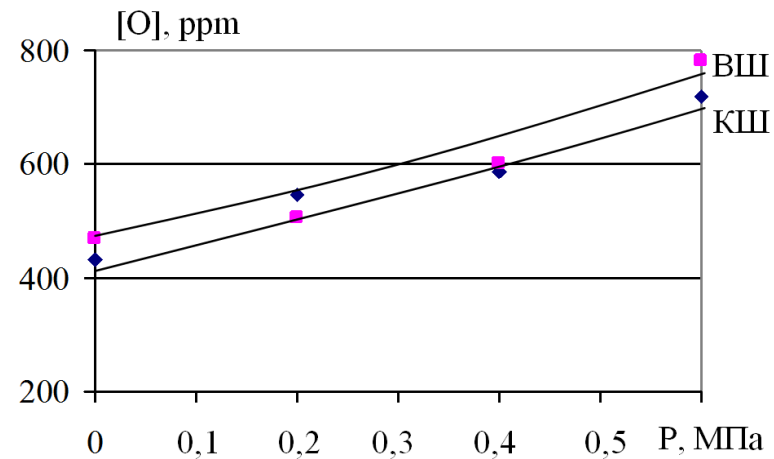
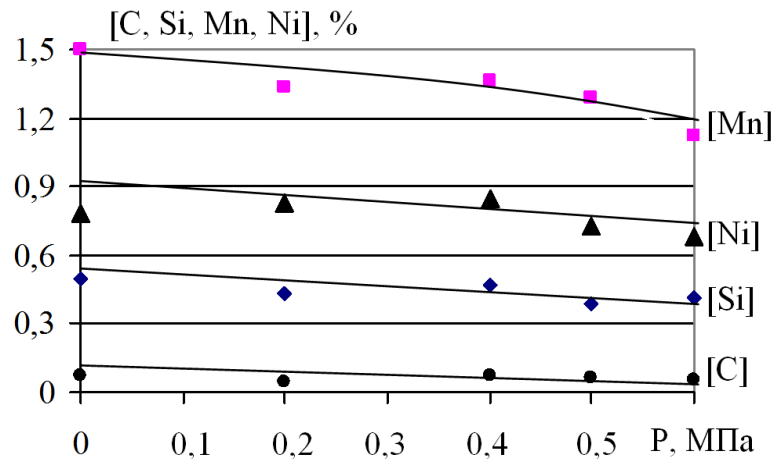
Механические испытания КСС при гипербарической сварке



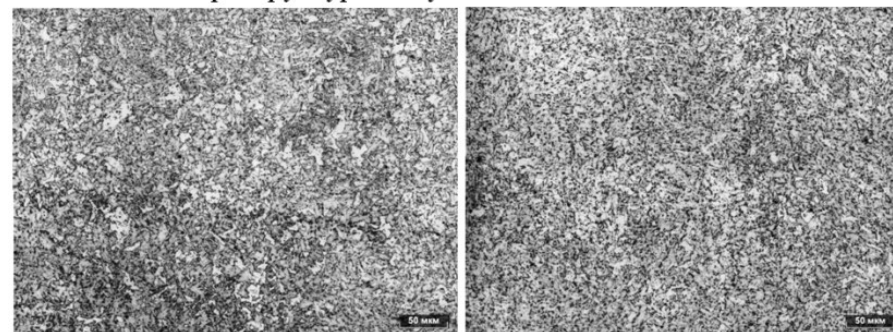
Вид поперечных макрошлифов из КСС № 1 и № 2. Вид сбоку и сверху



Химический и металлографический анализ КСС при гипербарической сварке

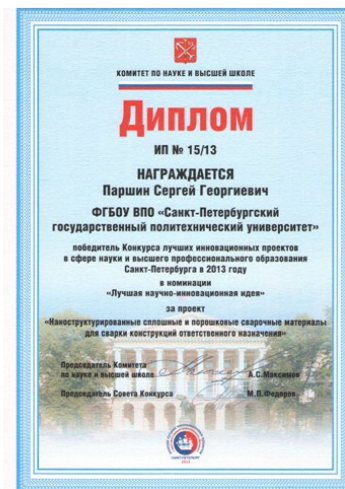


Микроструктура выпуклости шва КСС № 1 и 2



Микроструктура выпуклости шва КСС № 1/гипер и 2/гипер

Патенты и награды кафедры в области подводной сварки



Патенты РФ на изобретения на 3 порошковые проволоки для подводной сварки сталей



Свидетельства НАКС об аттестации порошковых проволок для подводной сварки марки ППС-АПЛ1, ППС-АПЛ2, ППС-АПЛ3 для сварки ответственных конструкций