Результаты опытного и опытно-промышленного производства бесшовных труб из сталей 13Cr

Коновалова Кристина Александровна
Аспирант, НИТУ МИСИС

IX Научно-технической конференции
«КОРРОЗИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

03-04.09.2025

Материал исследования

Марка стали	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	Ti
15Х13Н2 (МИСИС)	0,16	0,33	0,56	0,014	0,010	12,5	0,02	2,0	0,014	0,005
15Х13Н2 (Выксунский завод ОМК)	0,137	0,30	0,63	0,018	0,002	12,9	0,059	1,95	0,01	0,004

Применение: обсадные и насосно-компрессорные трубы повышенной коррозионной стойкости

АО «Корпорация Красный октябрь»

Круглая заготовка Ø 250 мм

ТПЦ Выксунского завода ОМК

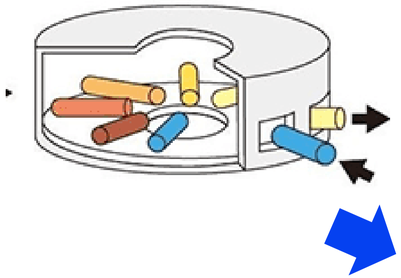
Бесшовная труба размером 168,28х8,94 мм



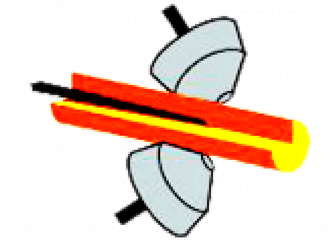
Производство промышленных образцов

Схема технологического процесса (основные этапы) производства бесшовных труб на площадке Выксунского завода ОМК

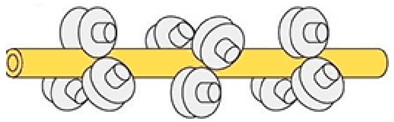
Нагрев в кольцевой печи с вращающимся подом



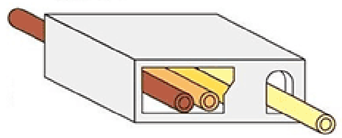
Прошивка на прошивном стане с грибовидными валками и дисками Дишера



Прокатка на непрерывном прокатном стане FQM



Отсутствие повторного нагрева (!)



Извлекательно-калибровочный стан

Участок термообработки

Производство лабораторных образцов

Нагрев трубных заготовок под температуру горячей винтовой прошивки 1180-1200 °С на стане «МИСиС-130Д»

Формирование диаметра и толщины стенки трубы

Резка и подготовки образцов для исследований – проведение термической обработки







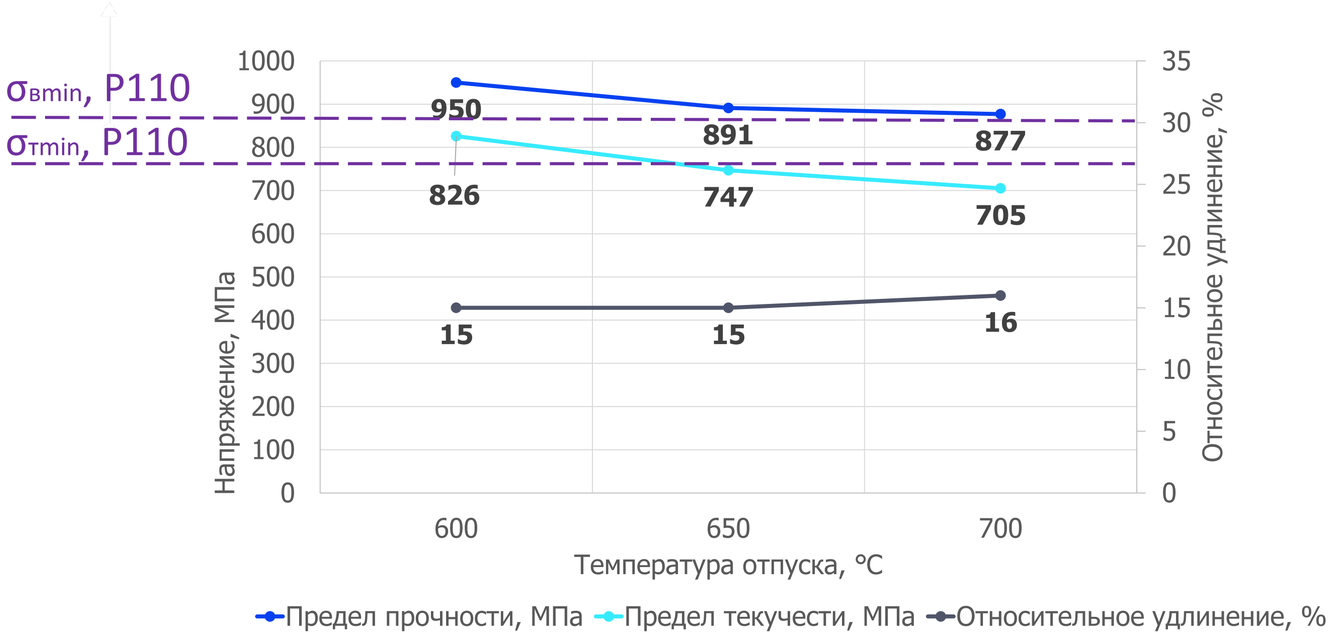
Горячая винтовая прошивка гильз в черновую трубу

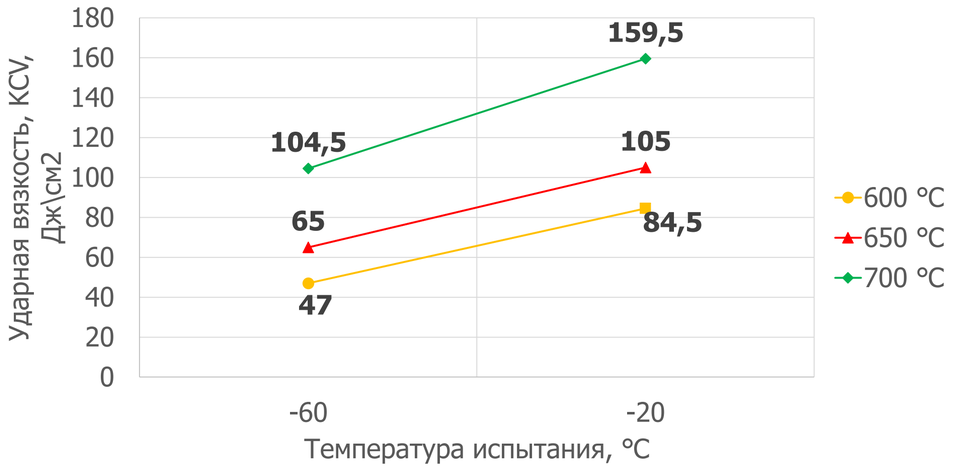
Влияние температуры отпуска на механические свойства и хладостойкость лабораторных образцов

Температура закалки: 950 ℃ (воздух)

Температура отпуска: **600/650/700 ℃** (воздух)

Термическая обработка	Соответствие группе прочности
950+600	**P110**
950+650	**R95**
950+700	**R95**





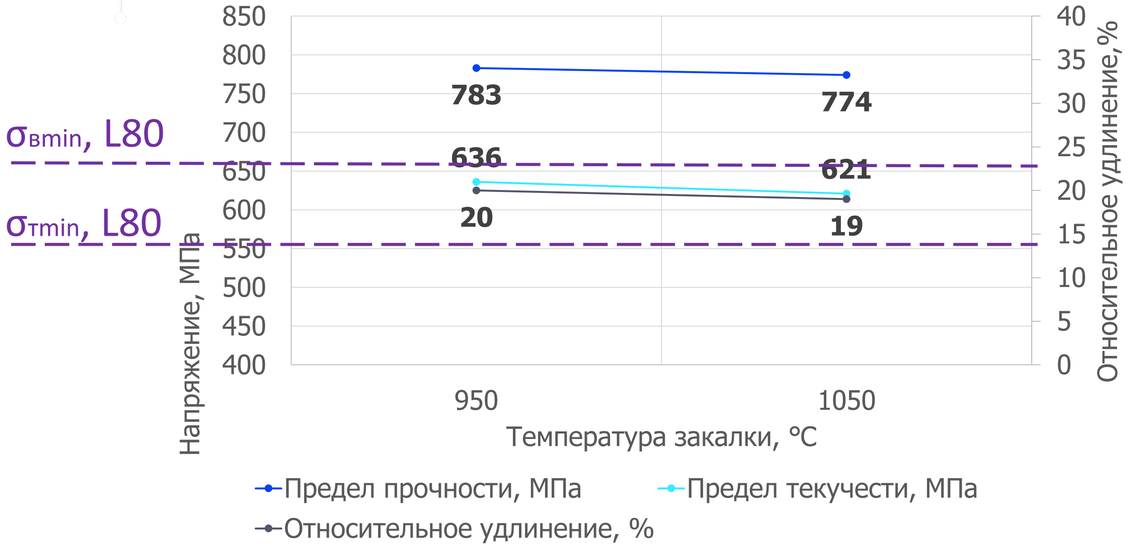
Влияние температуры закалки на механические свойства и хладостойкость лабораторных образцов

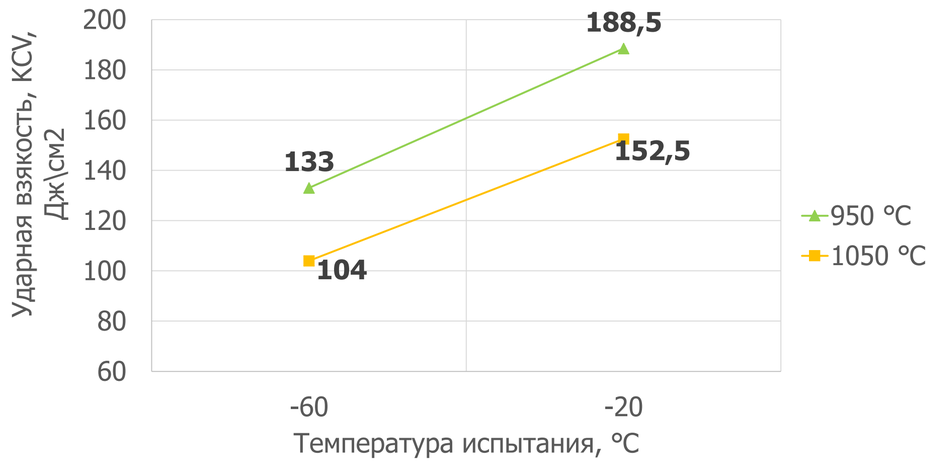
Температура первой закалки: **950/1050 ℃** (воздух)

Температура закалки из МКИ: 760 ℃ (воздух)

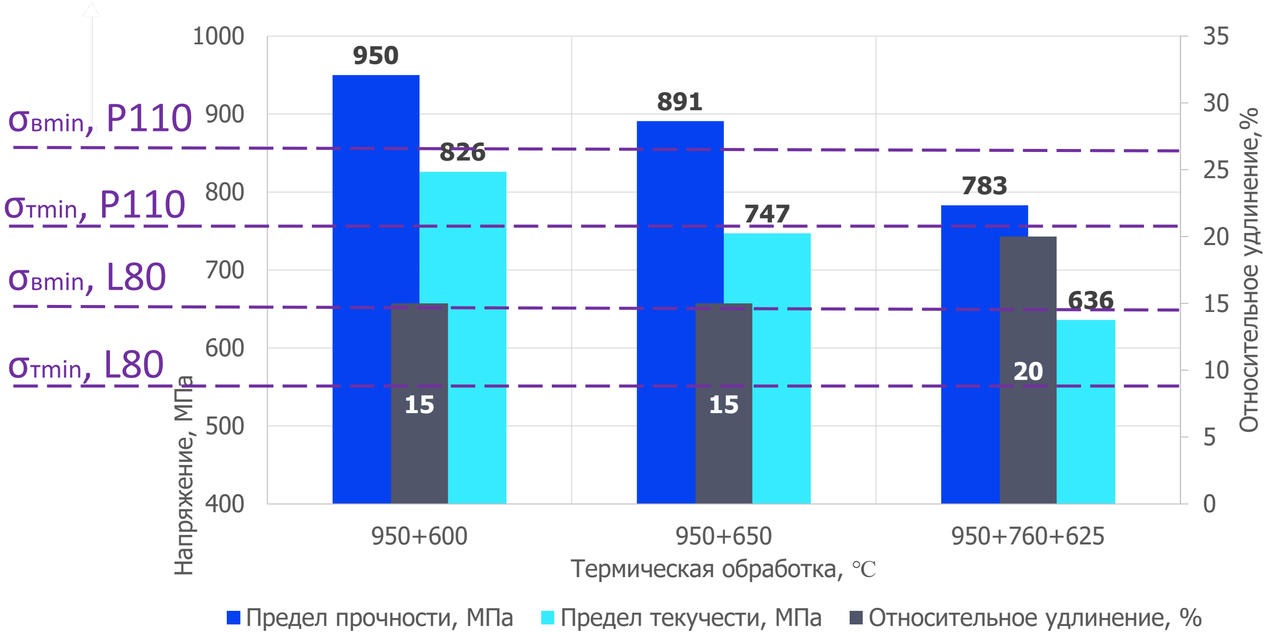
Температура отпуска: 625 ℃ (воздух)

Термическая обработка	Соответствие группе прочности
950+760+625	**L80**
1050+760+625	**L80**

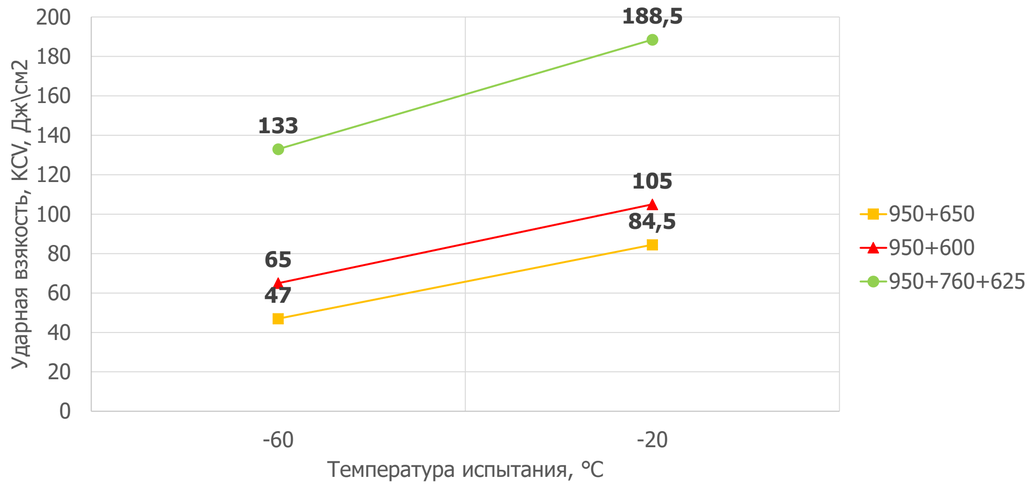




Сравнительный анализ лабораторных образцов после различных видов ТО

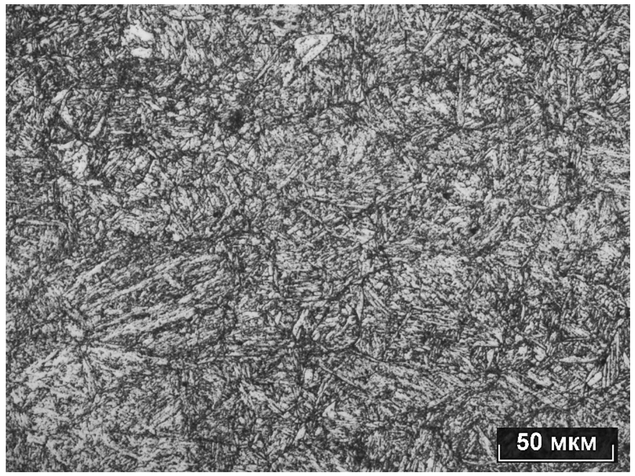


Термическая обработка	Соответствие группе прочности
950+600	**P110**
950+650	**R95**
950+760+625	**L80**

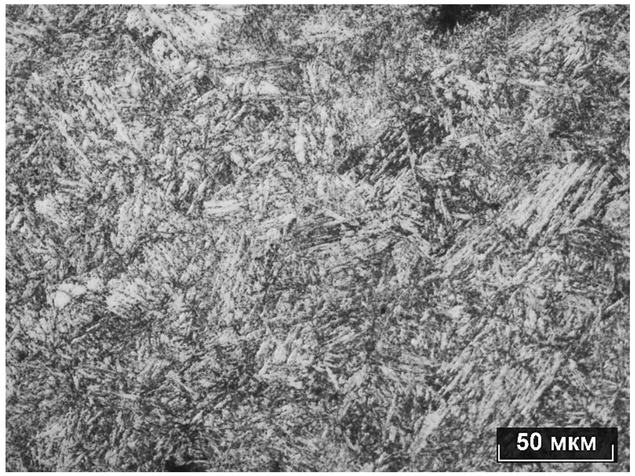


Структура лабораторных образцов после различных видов ТО

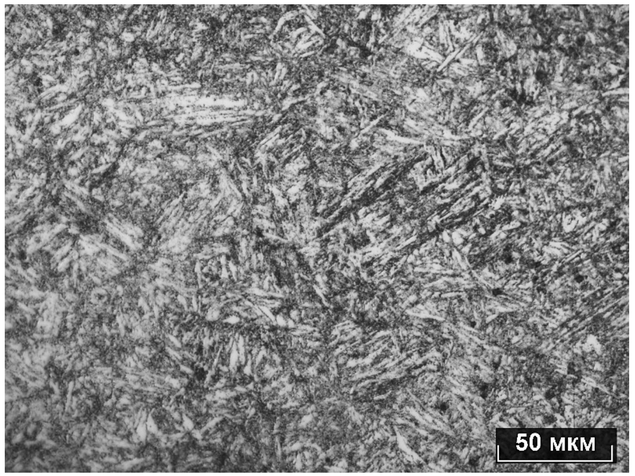
Закалка 950 °С + отпуск 600 °С



Закалка 950 °С + отпуск 650 °С

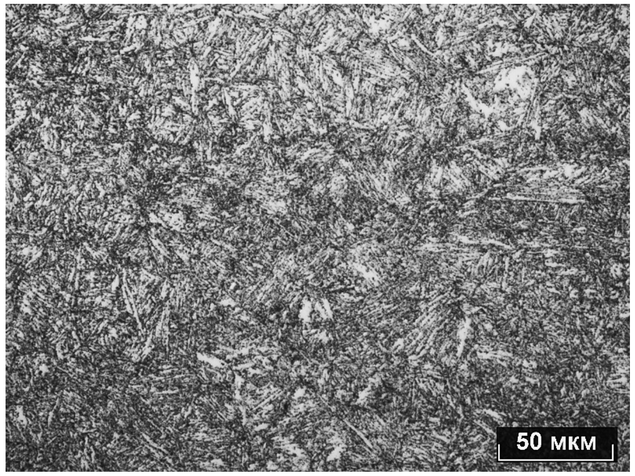


Закалка 950 °С + отпуск 700 °С

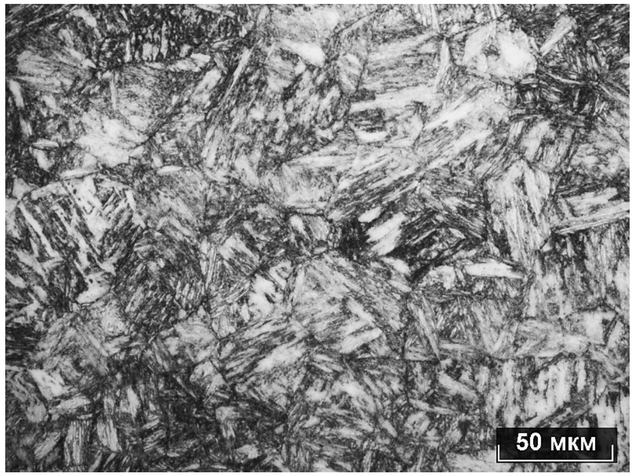


Структура: феррито-карбидная смесь

Закалка 950 °С + закалка 760 °С + отпуск 625 °С



Закалка 1050 °С + закалка 760 °С + отпуск 625 °С



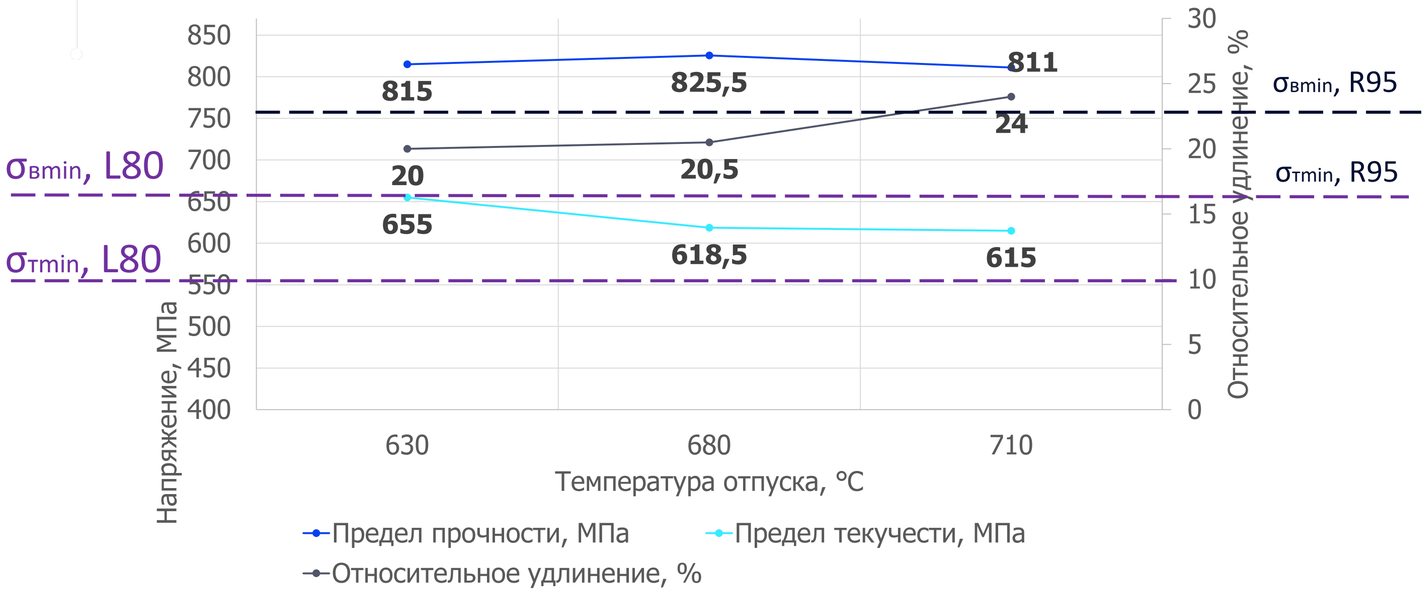
Влияние температуры отпуска на механические свойства и хладостойкость промышленных образцов

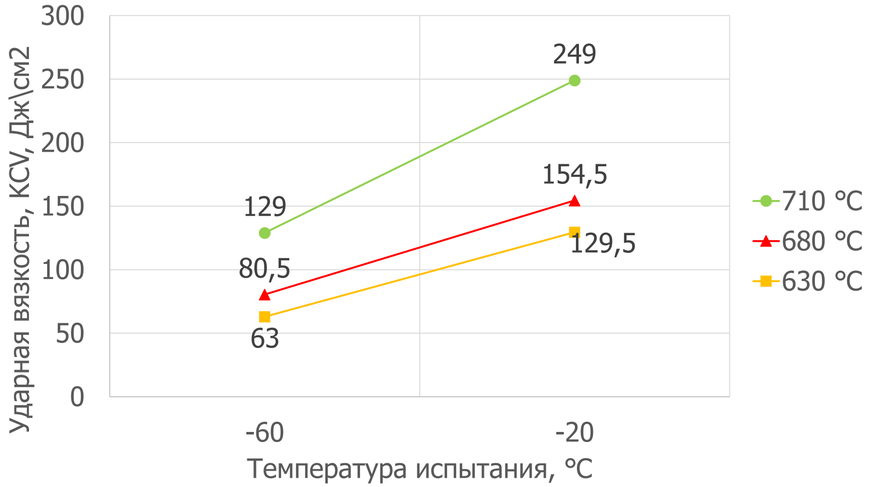
Температура первой закалки: 950 °С (воздух)

Температура закалки из МКИ: 760 °С (воздух)

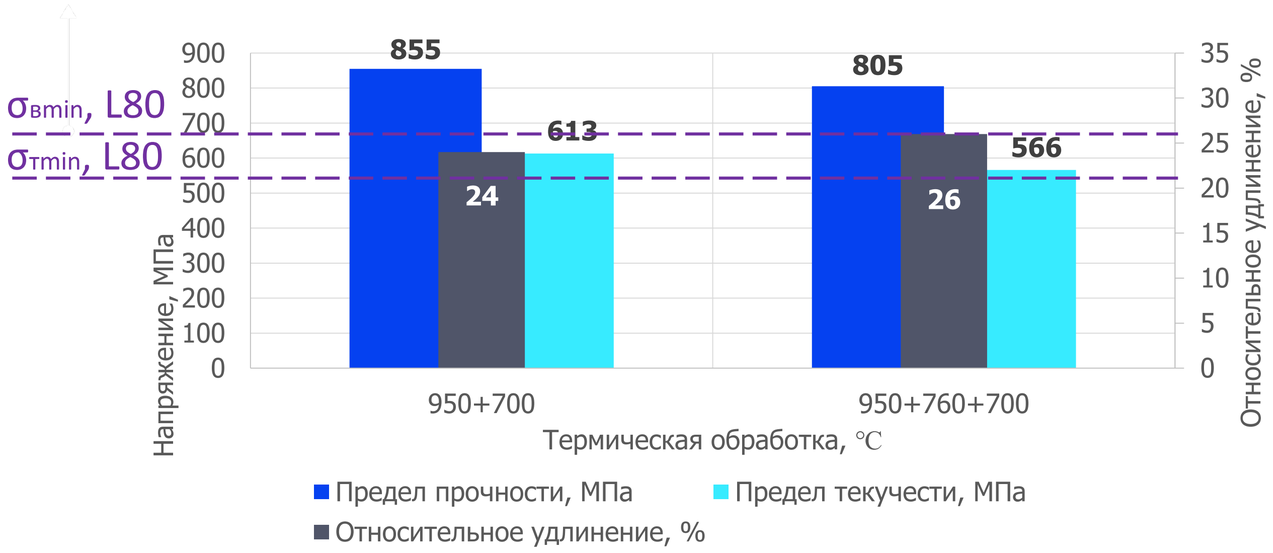
Температура отпуска: **630/680/710** °С (воздух)

Термическая обработка	Соответствие группе прочности
950+760+630	**L80**
950+760+680	**L80**
950+760+710	**L80**

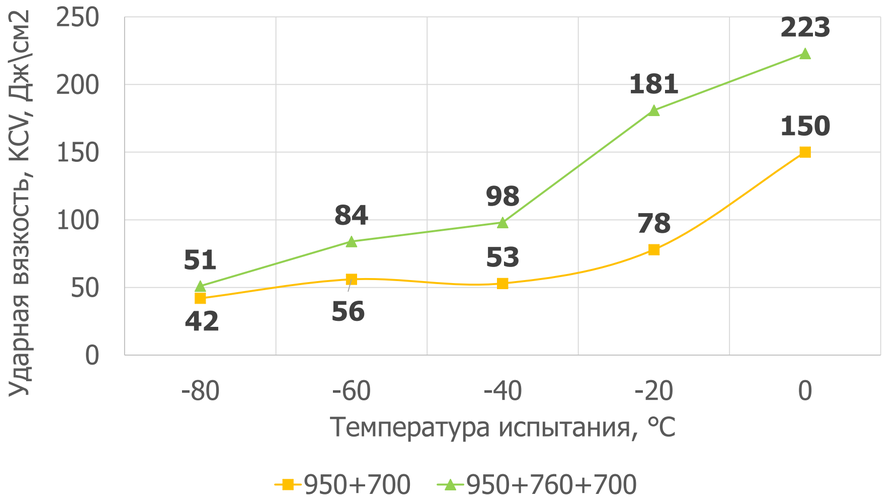




Сравнительный анализ промышленных образцов после различных видов ТО



Термическая обработка	Соответствие группе прочности
950+700	**L80**
950+760+700	**L80**



Результаты коррозионных испытаний

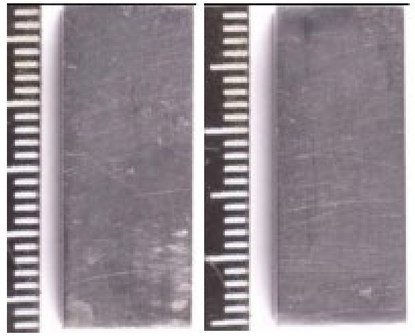
Условия проведения испытания общей коррозии
Стандарт NACE TM0169/G31-2021

Время испытания: 72 ч
Температура испытания: 60 ℃
Испытательная среда: водный раствор 5% NaCl, насыщенный CO_2
Давление: 40 атм.
Материал: 15Х13Н2 , ТО: 950+760+700
Размеры образцов: 25х10х4 мм

Образцы после испытания



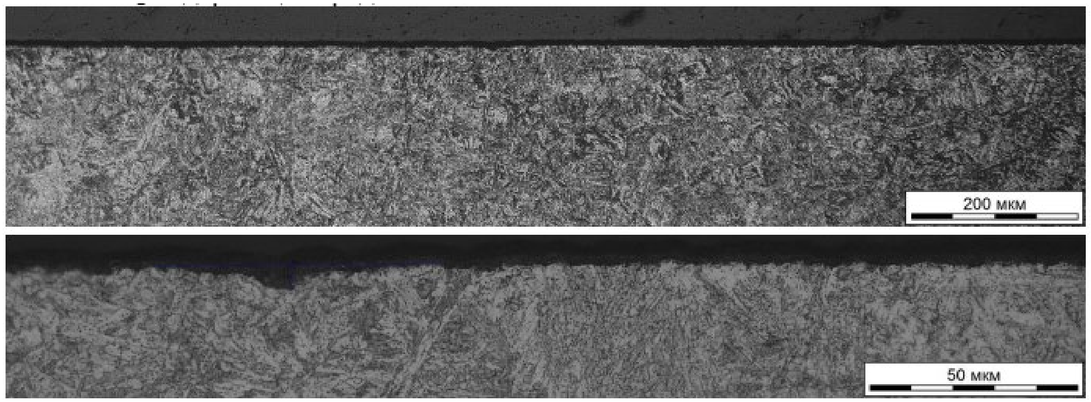
до очистки
от продуктов коррозии



после очистки
от продуктов коррозии

Установка для
проведения испытания





Результаты опытного и опытно-промышленного производства бесшовных труб из сталей 13Cr

На поверхности были выявлены кристаллы хлорида натрия (NaCl) осадочного происхождения; **коррозионных поражений (питтингов) не выявлено**

Скорость коррозии: $V_{ср} = 0,01$ мм/год

Результаты коррозионных испытаний

Условия проведения испытания к SSC
Стандарт NACE TM0177, метод А

Время испытания: 720 ч
Температура испытания: 22 - 24 ℃
Испытательная среда: раствор А (5% NaCl и 0,5% CH3COOH)
Раствор насыщения: H_2S
Материал: 15Х13Н2, ТО: 950+760+700

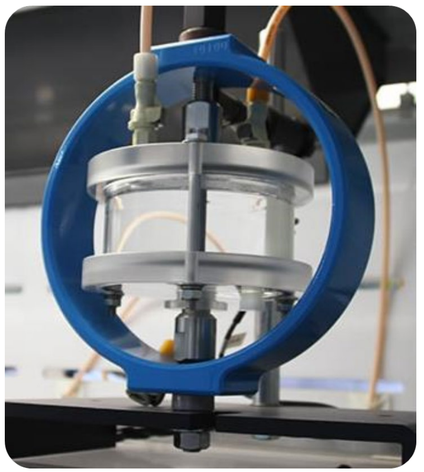


Образцы до испытания



Образцы после испытания

Установка для проведения испытаний в среде H_2S



Образец	Минимальный σт, МПа	Напряжение испытания, МПа	Процент от минимального σт, МПа	Наличие/ отсутствие дефекта
15Х13Н2 (Выксунский завод ОМК)	655	479	72	Не обнаружено

Промежуточные результаты

В качестве материала для производства обсадных и насосно-компрессорных бесшовных труб повышенной коррозионной стойкости предложена сталь 15Х13Н2. В лабораторных условиях продемонстрирована возможность достижения группы прочности Р110 (закалка 950 °С + отпуск 600 °С), а также после применения двойной закалки достижение L80 в хладостойком исполнении.

Произведена опытно-промышленная партия бесшовных труб размером 168,28х8,96 мм из стали 15Х13Н2 в условиях ТПЦ Выксунского завода ОМК.

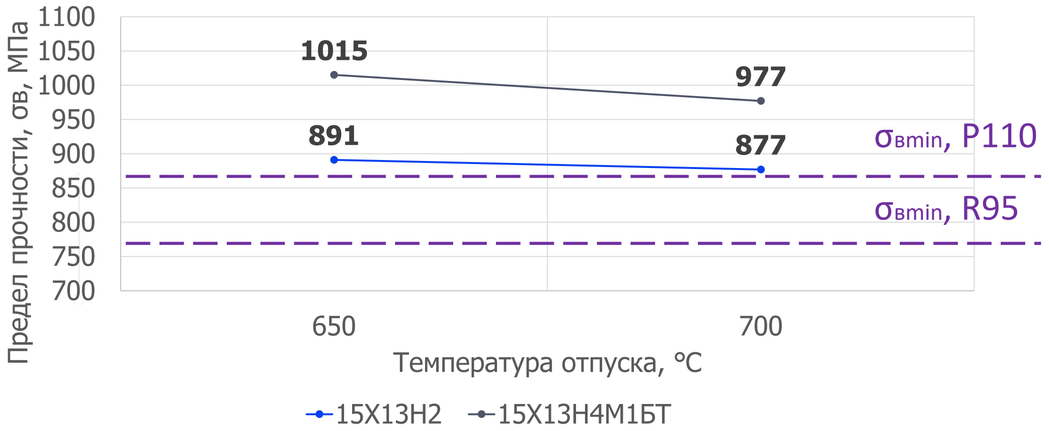
В ходе исследований опытно-промышленной партии установлено, что применение закалки с высокотемпературным отпуском позволяет достичь группы прочности L80. Достичь группы прочности L80 в хладостойком исполнении позволяет применение двойной закалки (полная закалка + из МКИ) с высокотемпературным отпуском. Ударная вязкость после двойной закалки при минус 20 °С и при минус 60 °С в 1,5 раза превышает ударную вязкость после одинарной закалки.

Материал исследования

Химический состав лабораторных образцов, массовая доля %

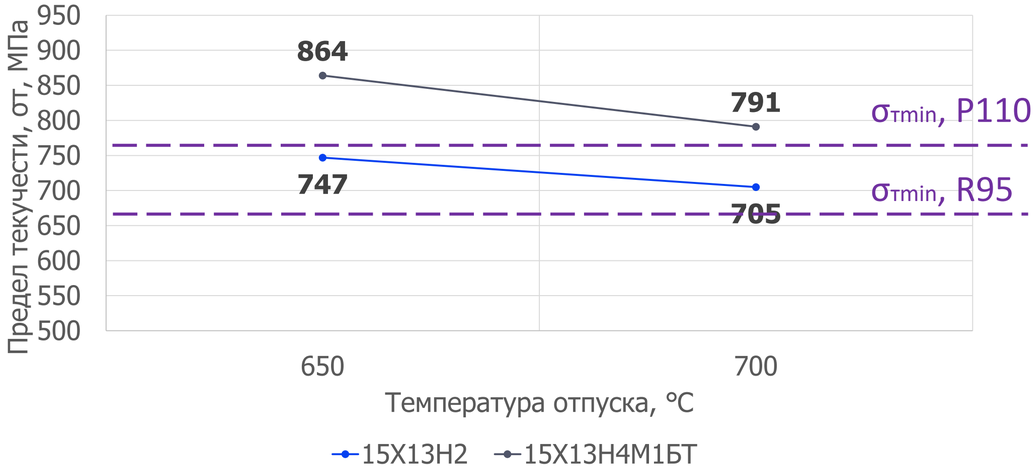
Марка стали	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	Ti	
15Х13Н2	0 ,16	0,33	0,56	0,014	0,010	12,5	0,02	2,0	0,014	0,005	без микролегирования
15Х13Н4М1БТ	0,11	0,66	0,51	0,005	0,006	12,8	0,96	3,9	0,140	0,018	микролегирование Nb и Ti

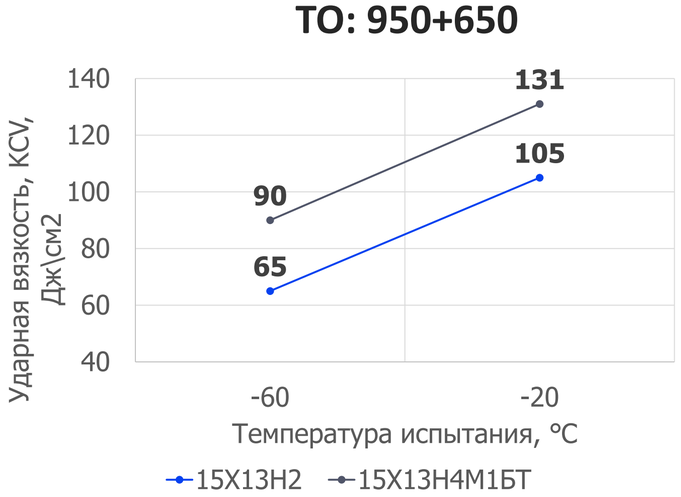
Сравнение результатов лабораторных плавок после закалки и отпуска

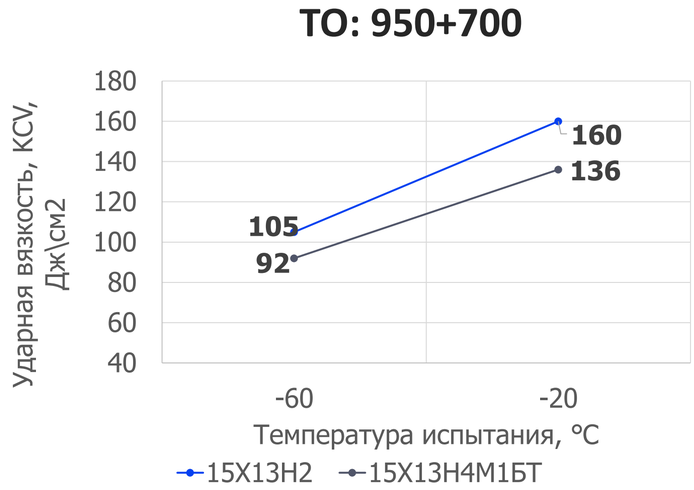


Образец	Термическая обработка		Соответствие группе прочности
	Закалка, ℃	Отпуск, ℃	
15Х13Н2	950	650	**R95**
		700	**R95**
15Х13Н4М1БТ	950	650	**Р110**
		700	**Р110**

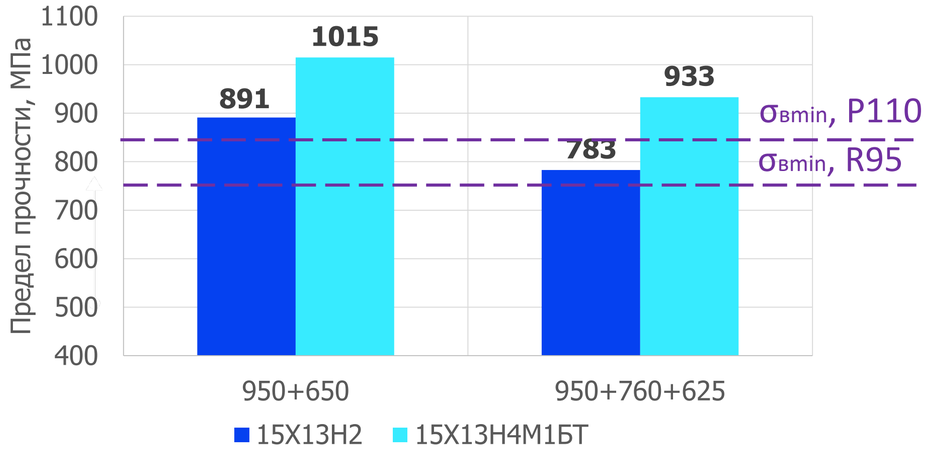
*относительное удлинение изменяется не значительно





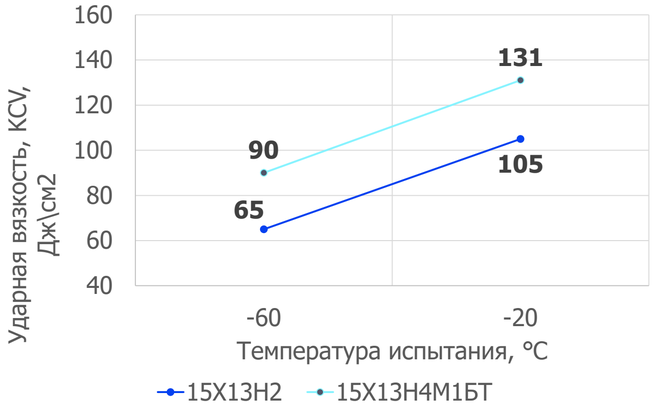


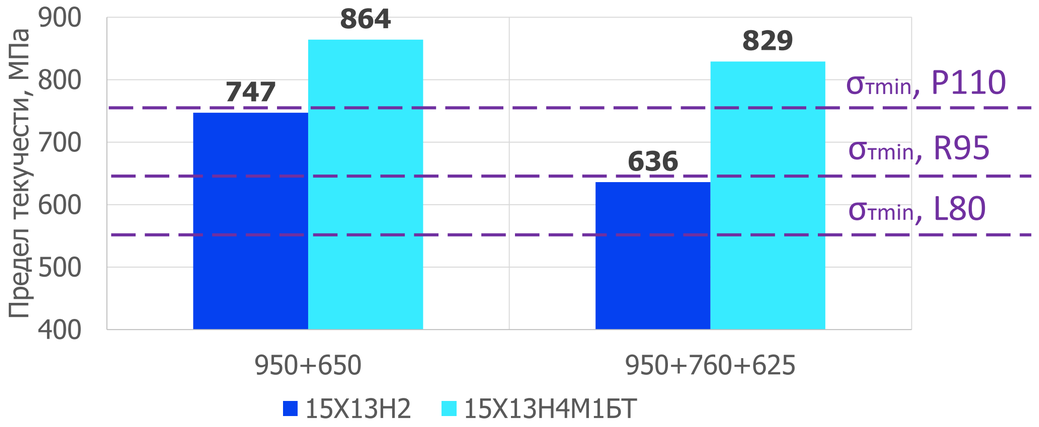
Сравнение результатов лабораторных плавок после различных видов ТО

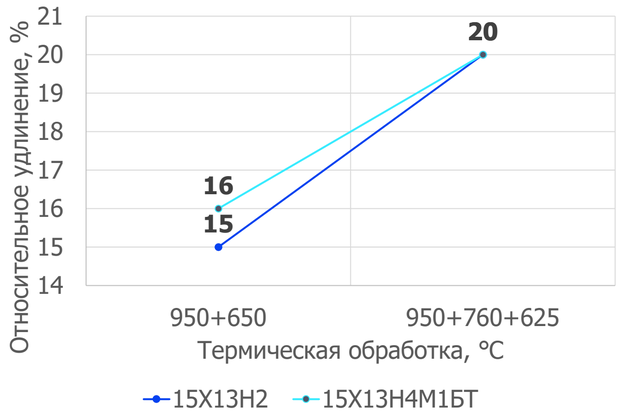


Образец	Термическая обработка	Соответствие группе прочности
15Х13Н2	950+650	**R95**
	950+760+625	**L80**
15Х13Н4М1БТ	950+650	**P110**
	950+760+625	**P110**

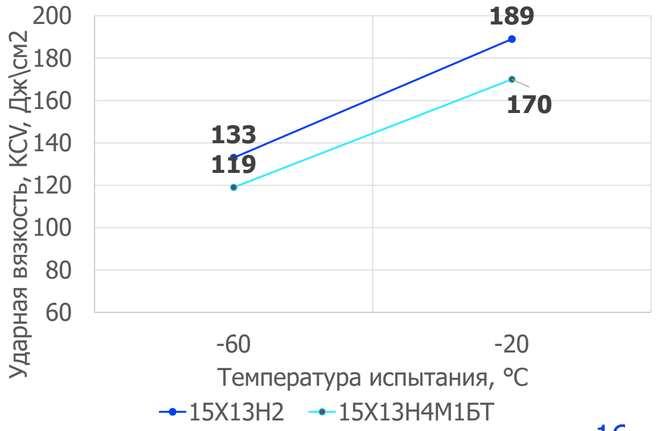
ТО: 950+650







ТО: 950+760+625



Выводы

В качестве материала для производства обсадных и насосно-компрессорных бесшовных труб повышенной коррозионной стойкости предложена сталь 15Х13Н2. Произведена опытно-промышленная партия бесшовных труб размером 168,28х8,96 мм из стали 15Х13Н2 в условиях ТПЦ Выксунского завода ОМК.

В ходе исследований опытно-промышленной партии установлено, что применение закалки с высокотемпературным отпуском позволяет достичь группы прочности L80. Достичь группы прочности L80 в хладостойком исполнении позволяет применение двойной закалки (полная закалка + закалки из МКИ) с высокотемпературным отпуском. Ударная вязкость после двойной закалки при минус 20 °С и при минус 60 °С в 1,5 раза превышает ударную вязкость после одинарной закалки.

Для достижения группы прочности Р110 в хладостойком исполнении исследовано дополнительное микролегирование Nb и Ti. В лабораторных образцах микролегирование Nb и Ti гарантирует после одинарной и двойной закалки достижение Р110 в хладостойком исполнении.

МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ

Спасибо за внимание!

Исследование выполняется в рамках проекта «Разработка и внедрение комплексных технологий производства бесшовных труб из сталей нового поколения с управляемой коррозионной стойкостью при осложненных условиях эксплуатации для топливно-энергетического комплекса Российской Федерации» в рамках Соглашения №075-11-2023-011 от 10.02.2023 г. по постановлению Правительства РФ №218 от 09.04.2010 г.

Выражаю благодарность сотрудникам коллективов:
ИТЦ Выксунскому заводу ОМК, кафедре ОМД и НИЛ «ГНМ» (НИТУ МИСИС), а также ООО «ИТ-Сервис» и НТИ СПбПУ