

**VIII ОТРАСЛЕВОЕ СОВЕЩАНИЕ «СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ
НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА
ПАО «ГАЗПРОМ»**

**ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ
ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ОШЗ**

**УТКИН Иван Юрьевич (РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М.Губкина)
ФРАНТОВ Игорь Иванович (ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»)**

Москва – 2016

ВВЕДЕНИЕ

Международными стандартами API Spec 5L, ISO 3183, DNV-OS-F101 установлены требования не только к механическим свойствам основного металла, но и сварного соединения, включая зону термического влияния (ЗТВ).

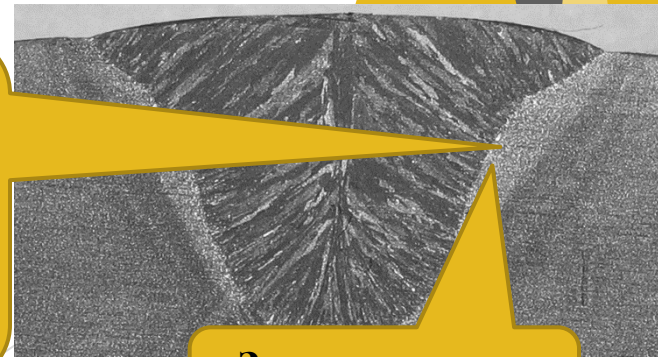
Металл ЗТВ характеризуется микроструктурной неоднородностью из-за градиента температурных полей. Наиболее проблематичным, с точки зрения охрупчивания, является участок околошовной зоны (металл ОШЗ), с размером аустенитных зерен более 50 мкм (номер зерна 5 по ГОСТ 5639–82).

В настоящее время нет альтернативы сварке прямошовных труб четырьмя-пятью электродами и одним-двумя при сварке монтажных стыков трубопроводов.

Не изменяя тепловложения и скорость сварки можно управлять микроструктурой за счет микролегирования, тем самым повысить свойства и исключить эффект охрупчивания металла ОШЗ после сварки труб из сталей групп прочности X70–X80.

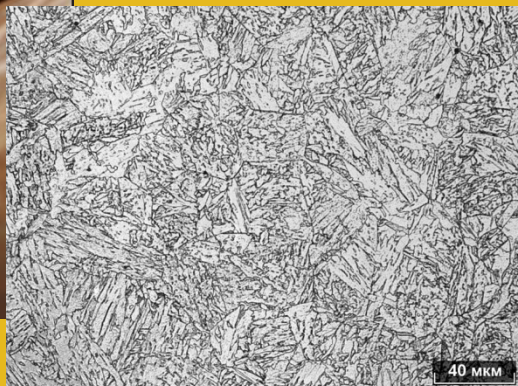
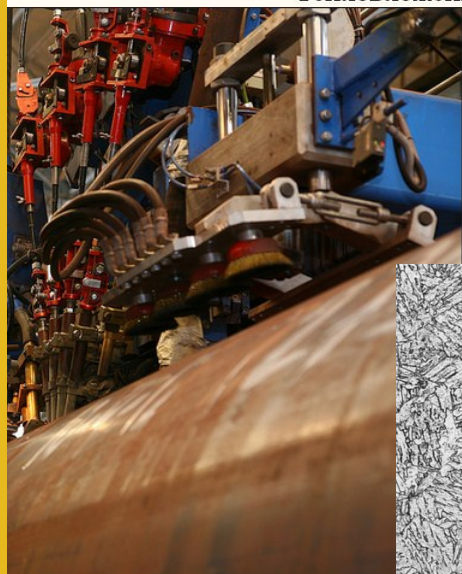
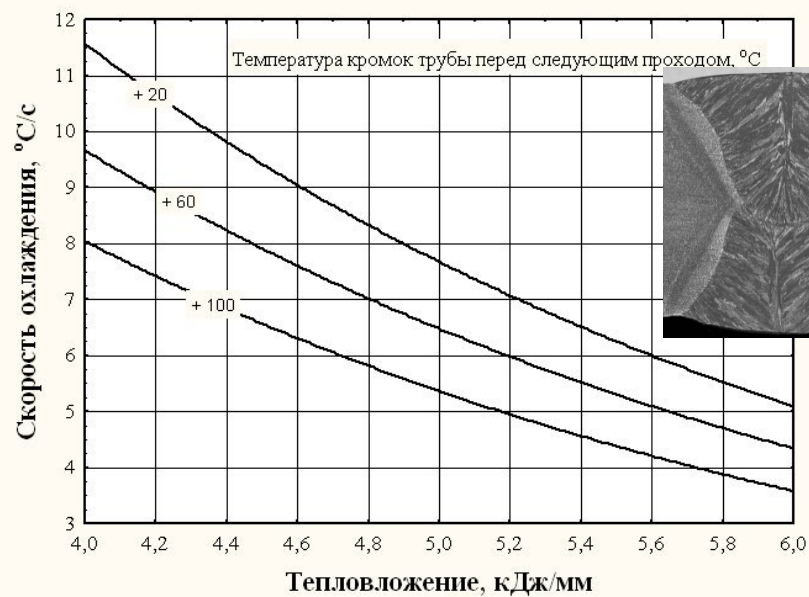
Необходимо разработать оптимальное микролегирование с целью повышения надежности свойств металла ОШЗ при различных способах сварки.

Ширина металла ОШЗ, **который нагревается до температур 1300-1350 °С**, составляет от 300 до 600 мкм, поэтому проблематично проводить исследования на реальных сварных соединениях. При разработке и исследовании композиций легирования сталей необходима имитация теплового сварочного воздействия на основной металл проката.

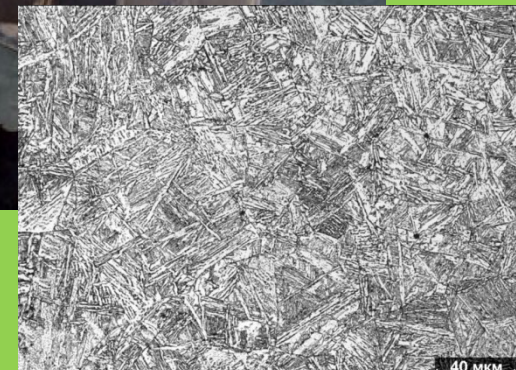
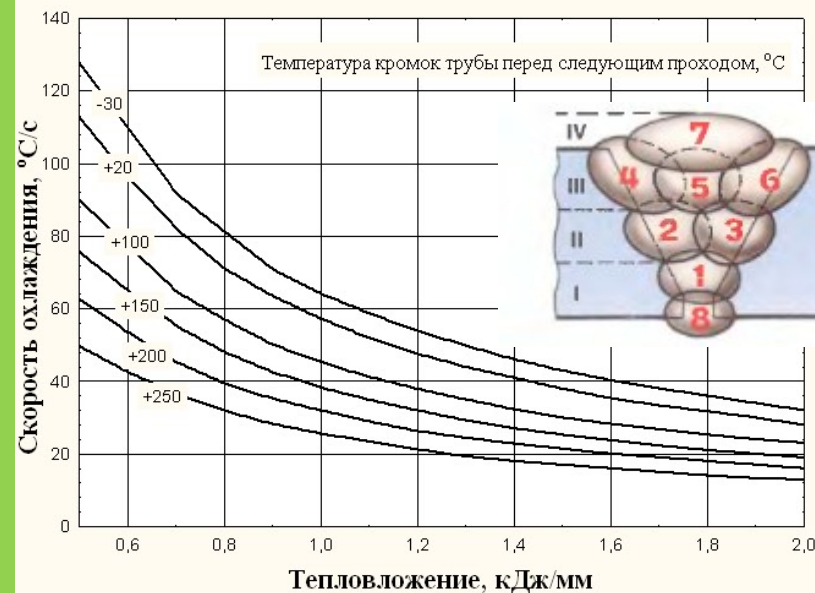


**Зона перегрева
1300-1350 °С/с**

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛА ОШЗ



Скорость охлаждения 5 °C/c



Скорость охлаждения 45 °C/c

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ СТАЛЕЙ

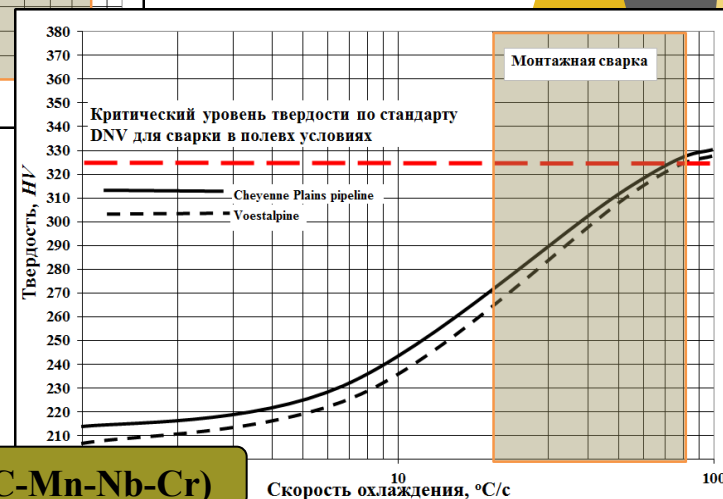
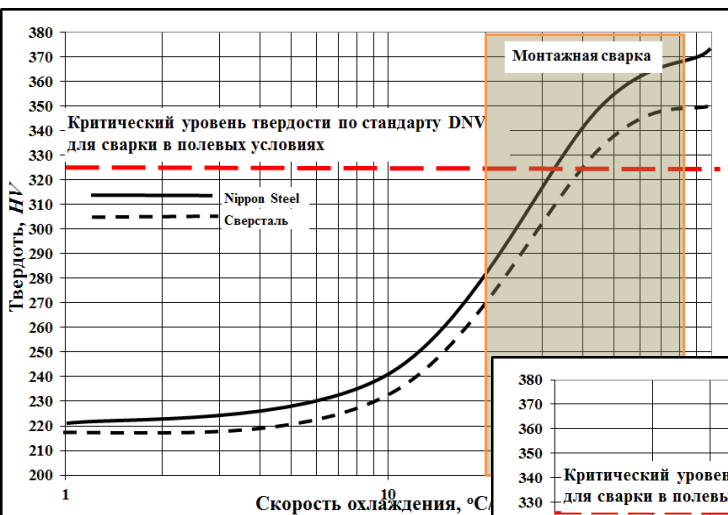
Проведены исследования совместного влияния микролегирующих добавок ванадия, ниобия, а также молибдена, хрома и никеля на свариваемость листового проката и труб большого диаметра отечественных и зарубежных производителей.

Группа	Химический состав, мас %												
	C	Si	Mn	S	P	Al	Ti	N	Nb	V	Mo	Cr	Ni
А	0,061	0,19	1,75	0,002	0,011	0,023	0,019	0,008	0,064	0,027	0,24	0,076	0,25
	0,07	0,39	1,67	0,004	0,006	0,031	0,013	0,004	0,032	0,042	0,18	-	0,23

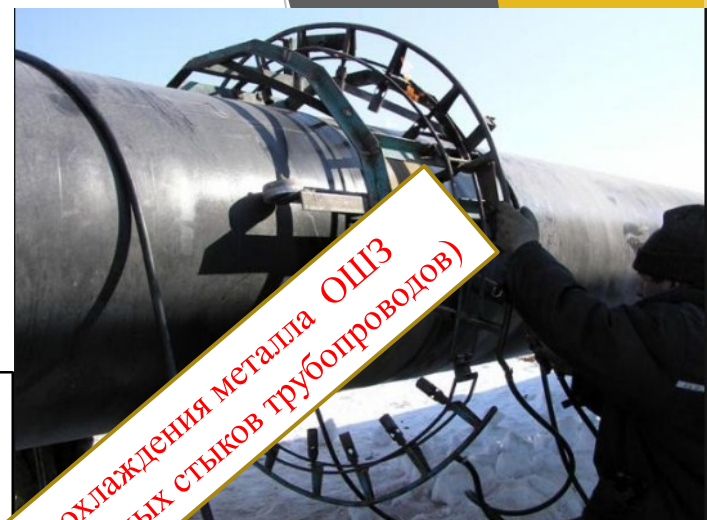
Группа	Химический состав, мас %												
	C	Si	Mn	S	P	Al	Ti	N	Nb	V	Mo	Cr	Ni
Б	0,06	0,21	1,76	0,001	0,009	0,03	0,022	0,006	0,07	0,006	0,003	0,03	0,37
	0,046	0,22	1,85	0,002	0,010	0,031	0,013	-	0,09	0,007	0,09	-	0,23

Группа	Химический состав, мас %												
	C	Si	Mn	S	P	Al	Ti	N	Nb	V	Mo	Cr	Ni
В	0,05	0,33	1,73	0,0005	0,006	0,033	0,013	0,0051	0,056	0,001	0,002	0,27	0,012
	0,06	-	1,56	0,002	0,014	0,037	0,014	-	0,094	0,002	0,01	0,23	0,13

ТВЕРДОСТЬ МЕТАЛЛА ОШЗ СТАЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПОЗИЦИЙ ЛЕГИРОВАНИЯ



Скорости охлаждения металла ОШЗ
(сварки монтажных стыков трубопроводов)



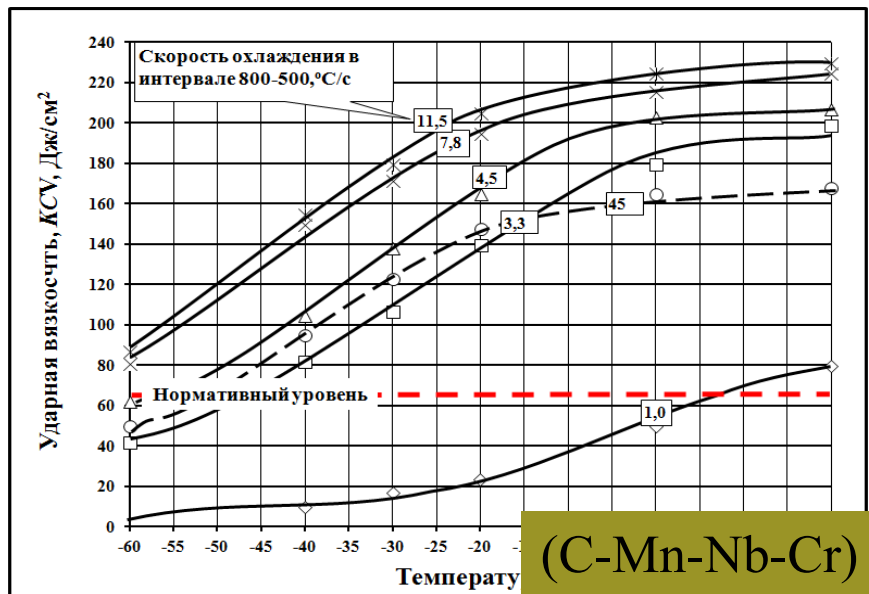
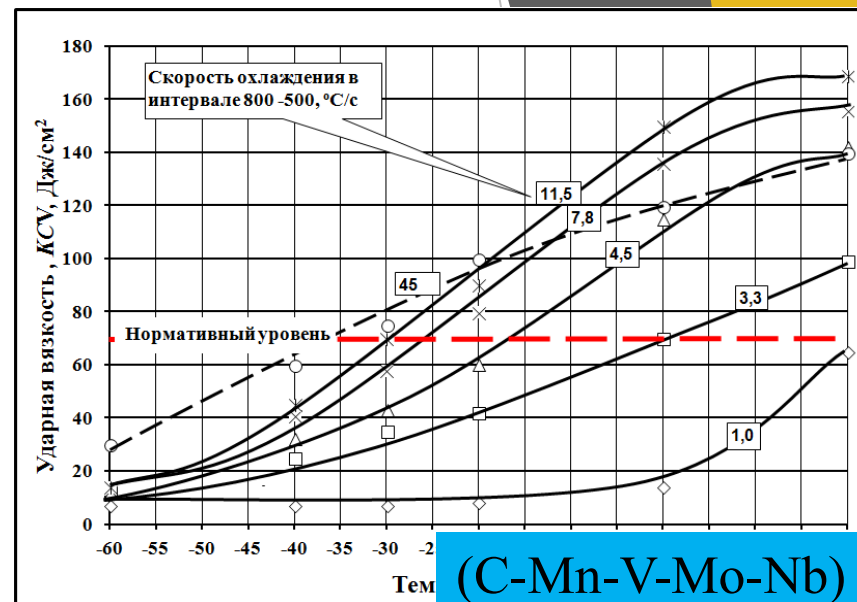
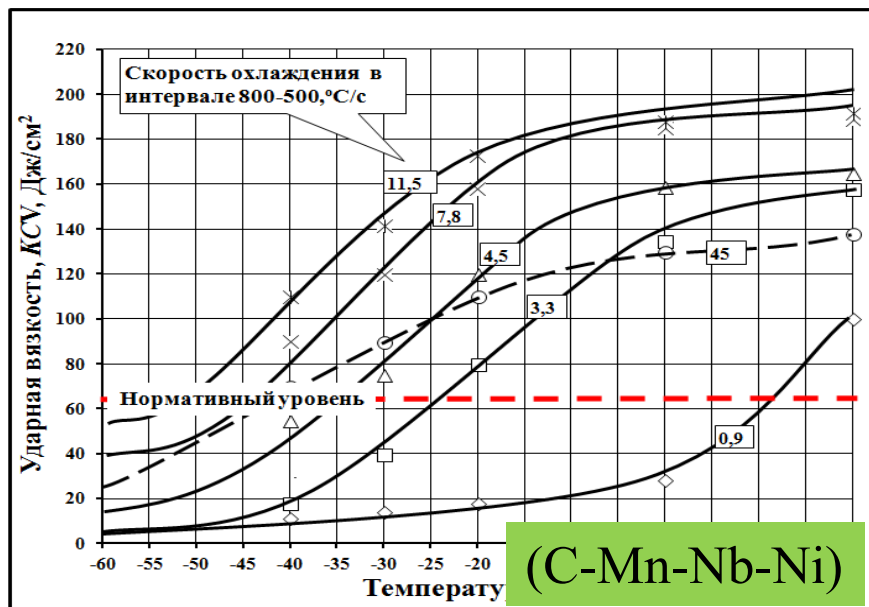
(C-Mn-V-Mo-Nb)

(C-Mn-Nb-Ni)

(C-Mn-Nb-Cr)

Композиции легирования сталей	Максимально допустимые скорости охлаждения металла ОШЗ после сварки, °C/c
V-Mo-Nb	30-40
Nb-Ni	50-60
Nb-Cr	70-80

ОЦЕНКА ХЛАДОСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛА ОШЗ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОМПОЗИЦИИ ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ



Базовый химический состав промышленных сталей с содержанием 0,045-0,06% С и 1,56- 1,85% Mn					Скорость охлаждения металла ОШЗ, °C/c
					7,8
Nb	V	Mo	Cr	Ni	Порог хладноломкости, °C
0,064	0,027	0,24	-	0,25	-26
0,032	0,043	0,18	-	0,23	-22
0,07	-	-	-	0,37	-44
0,09	-	-	-	0,23	-45
0,056	-	-	0,17	-	≤-60
0,094	-	-	0,23	0,13	≤-60

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СТАЛЕЙ ЛАБОРАТОРНЫХ ПЛАВОК

Выполнены *экспериментальные лабораторные плавки* с целью установления оптимального содержания углерода и ниобия для свойств металла ОШЗ.

№ плавк и	C	Mn	Si	Cr	Nb
1	0,03	1,65	0,32	0,27	0,055
2	0,03	1,69	0,38	0,30	0,083
3	0,03	1,72	0,36	0,31	0,10
4	0,03	1,71	0,39	0,31	0,13
5	0,06	1,64	0,31	0,29	0,057
6	0,06	1,63	0,30	0,28	0,077
7	0,06	1,65	0,32	0,30	0,10
8	0,06	1,63	0,30	0,30	0,13
9	0,10	1,62	0,30	0,29	0,056
10	0,10	1,66	0,30	0,30	0,078
11	0,10	1,66	0,30	0,30	0,10

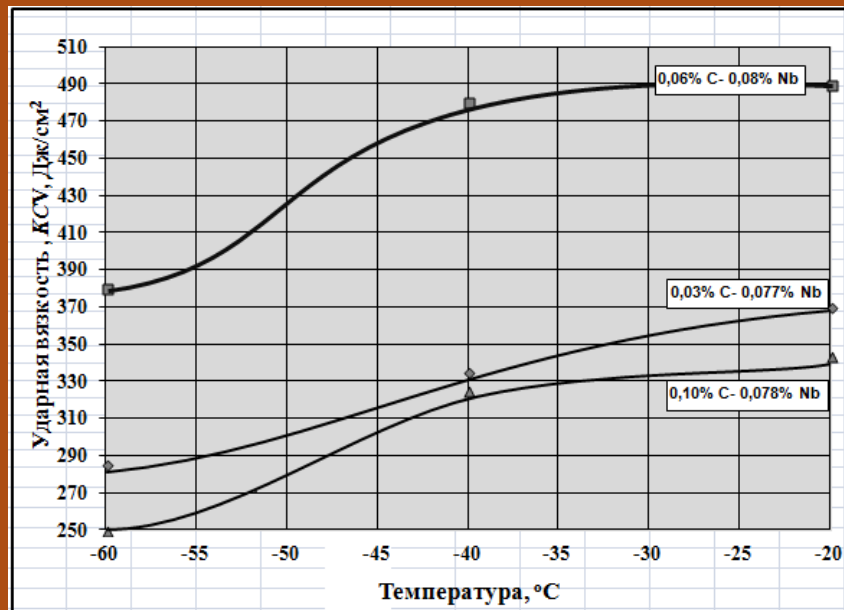
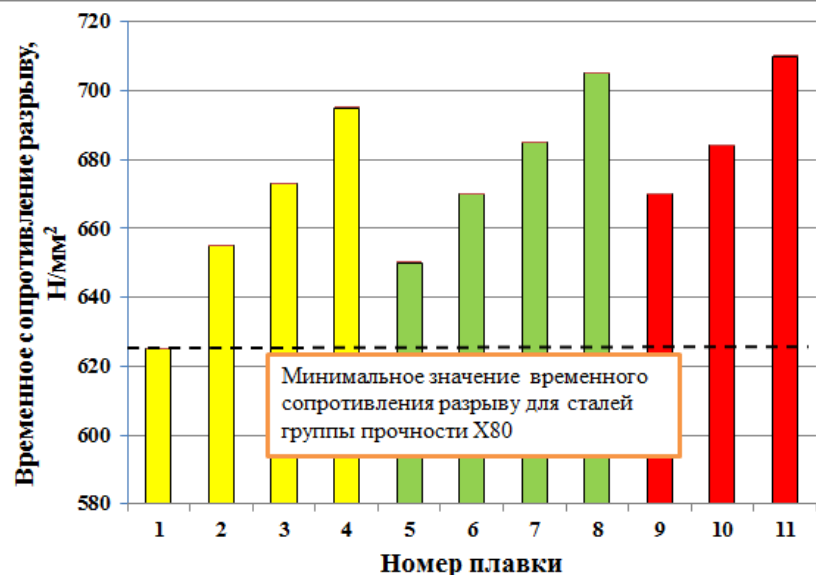


ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА И НИОБИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА ЛАБОРАТОРНОГО ПРОКАТА

плавки 1–2–3–4 (0,055–0,083–0,10–0,13% Nb при 0,03% C)

плавки 5–6–7–8 (0,057–0,077–0,10–0,13% Nb при 0,06% C)

плавки 9–10–11 (0,056–0,078–0,10% Nb при 0,10% C)

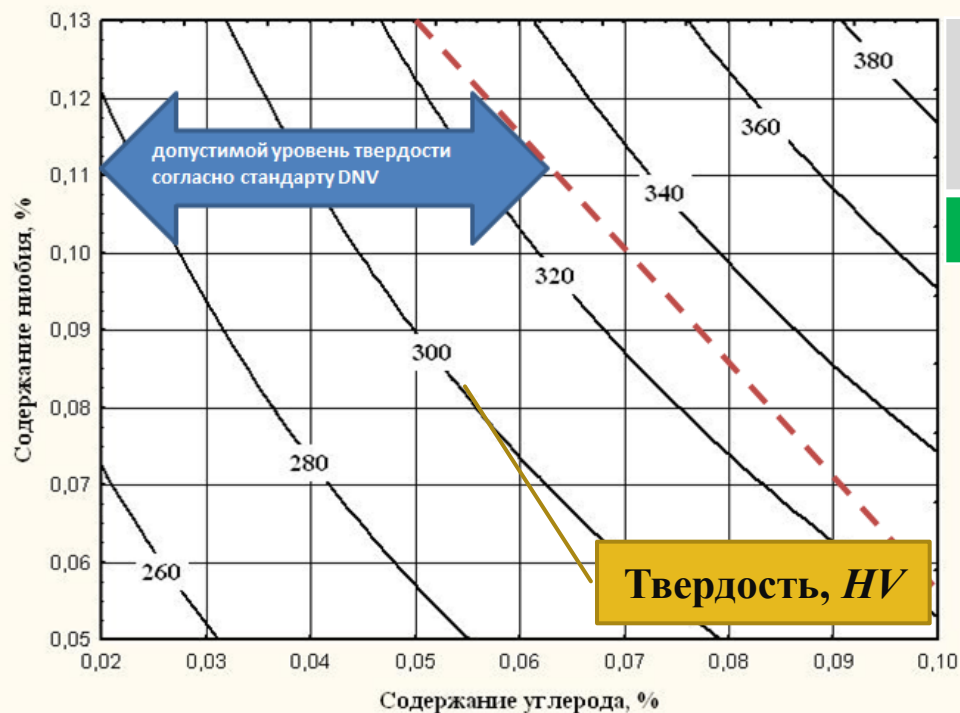


Хим. состав, мас. %	Температура испытания, °C		
	-20	-40	-60
0,03% C-0,077% Nb	370	335	285
0,06% C-0,080% Nb	490	480	380
0,10% C-0,078% Nb	344	325	250

Увеличение содержания ниобия на каждые 0,05% повышает **ВРЕМЕННОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ РАЗРЫВУ** на 40-50 Н/мм²:

Содержание ниобия, %	Содержания углерода, %
0,08–0,13	0,03
0,06–0,10	0,06
Менее 0,06	0,1

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА И НИОБИЯ НА ТВЕРДОСТЬ МЕТАЛЛА ОШЗ ПРИ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОСЛЕ СВАРКИ 45 °C/c



Допустимый
уровень
твердости, HV

325

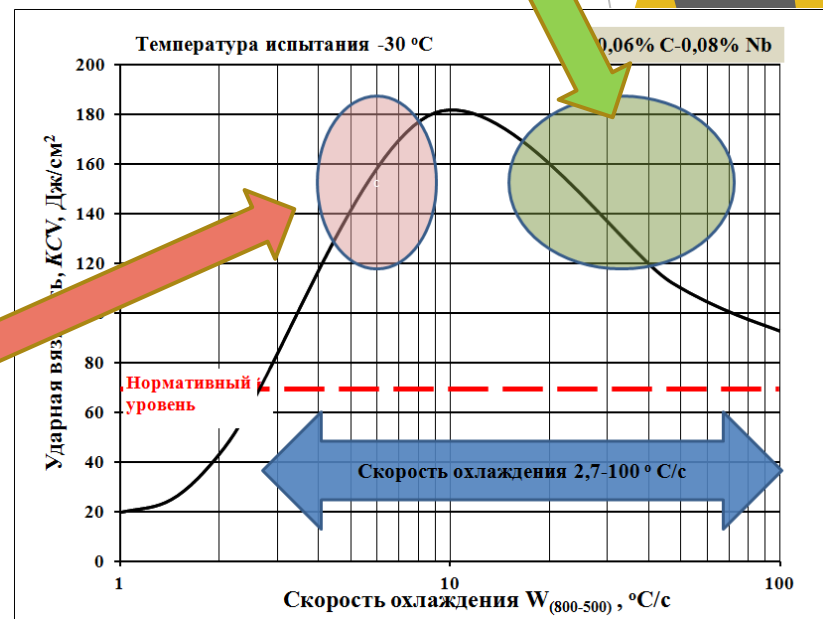
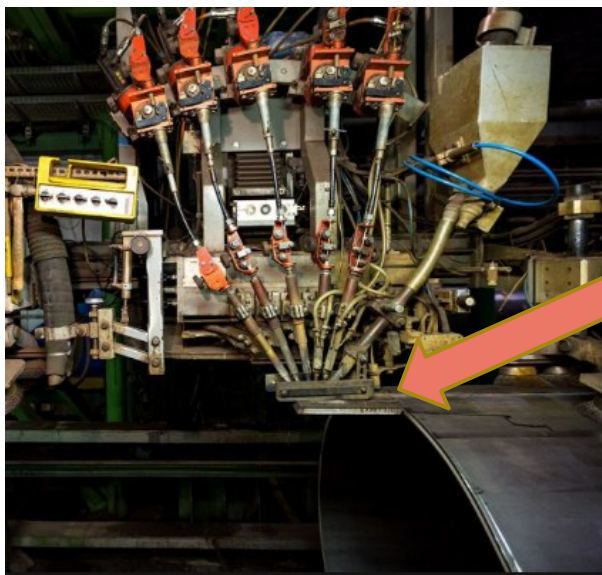
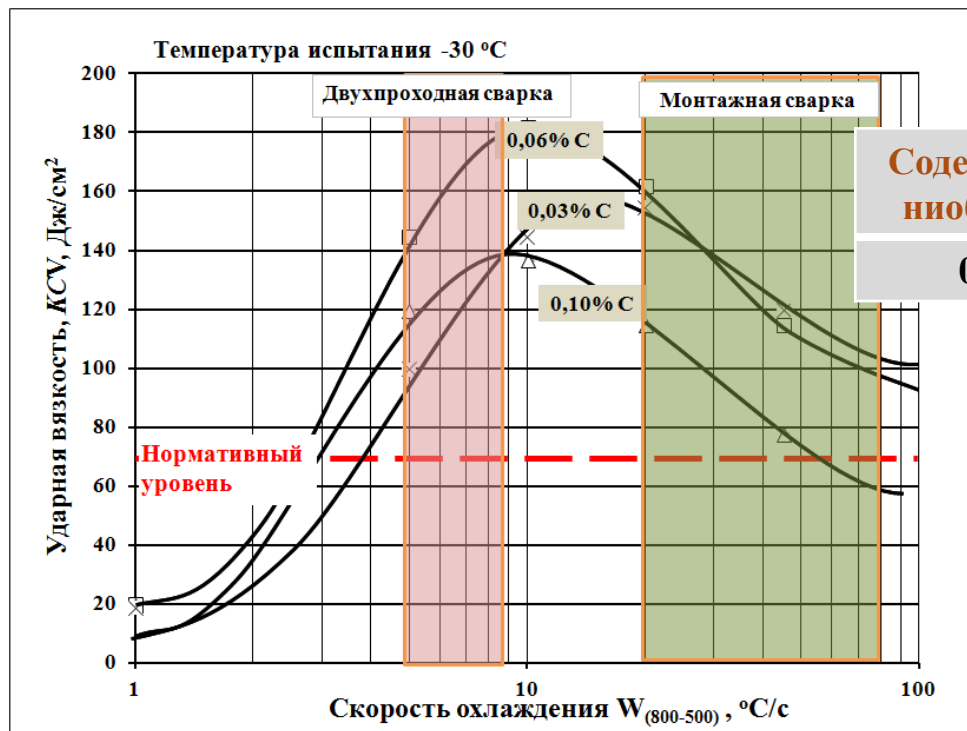


Микролегированные трубные стали, содержащие менее 0,10% C, 0,3% Cr и до 0,13% Nb, в зависимости от содержания углерода удовлетворяют требованиям по нормируемому уровню твердости, установленному стандартом DNV.

DNV-OS-F101 – 300 HV

w, °C/c	Плавка1	Плавка2	Плавка3	Плавка4	Плавка 5	Плавка6	Плавка7	Плавка8	Плавка9	Плавка10	Плавка11
4,3	205	210	215	220	210	215	220	225	220	240	250
9,4	215	215	225	230	215	225	235	240	235	255	260
11,5	225	225	230	235	220	235	245	250	235	255	275

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА И НИОБИЯ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ МЕТАЛЛА ОШЗ



ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ПАРТИЙ ПРЯМОШОВНЫХ ТРУБ

На Волжском трубном заводе, на участке сварки прямошовных труб производились работы по производству и квалификации опытной партий размерами **1016×25.4 мм** и **863,6×23,3 мм SAWL 485** в соответствии с требованием стандарта DNV. Химический состав соответствовал требованиям стандарта для производства прямошовных труб из сталей группы прочности X70. Применялись композиции легирования сталей с ниобием, добавками хрома или никеля.

№	Содержание компонентов, %											
	C	Si	Mn	P	S	Nb	Cr	Ni	Cu	Ti	Al	N
1	0.044	0.31	1.76	0.01	0.0006	0.059	0.27	0.022	0.014	0.013	0.028	0.0041
2	0.042	0.33	1.72	0.008	0.0007	0,059	0.27	0.021	0.017	0.013	0.032	0.004
3	0.06	0.27	1.75	0.009	0.001	0,068	0.03	0.38	0.05	0.026	0.03	0.007
4	0.06	0.21	1.76	0.009	0.001	0,07	0.03	0.37	0.04	0.022	0.03	0.006

Плавка	Сертификатные данные на лист				Входной контроль листа			
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	σ_T/σ_B	δ , %	σ_B , МПа	σ_T , МПа	σ_T/σ_B	δ , %
1	617	523	0,85	56,8	633	541	0,86	47
					590	500	0,85	48
2	612	524	0,86	58,2	613	532	087	46
					588	524	0,89	48
3	627	535	0,85	26	653	582	089	24
					609	527	0,86	22
4	613	520	0,85	27	647	559	088	26
					585	502	0,85	22

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ПАРТИЙ ТРУБ

Временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение

Testing	Orientation	Type of sample	Tensile strength		Yield strength		Yield strength/ ensile strength ratio
			min	max	min	max	
			MPa	MPa	MPa	MPa	
Parent metal			542	760	485	605	0,93
	L	square	610		553		0,91
			591		534		0,90
			570	760	485	605	0,93
	T	square	635		574		0,90
			620		559		0,90

Работа удара, KV, Дж

Notch location	Temperature	Number of samples	Across section location	Impact energy			
				Sample J	Sam.2 J	Sam.3 J	Average J
Weld seam center	-30° C	3	extern.-2mm	182	174	175	177
FL		3		199	178	175	184
FL+2		3		268	270	275	271
FL+5		3		277	280	283	280
Weld seam center		3	weld root	171	201	180	184
FL		3		217	219	224	220
FL+2		3		276	271	263	270
FL+5		3		283	280	289	284

Твердость, HV

Location of through-thickness measurement	Number of samples	Maximum hardness HV10		
		Par.met.	W. seam	HAZ
Standard	1	300	300	300
External -1,5 mm		222	237	192
Center		199	243	182
Internal -1,5 mm		194	241	193



DET NORSKE VERITAS

STATEMENT OF COMPLIANCE

DNV Project number: EP001913

Company: Volzhsky Pipe Plant OJSC

Location: Volzhsky Pipe Plant, Russia - SAWL production line

Description: Qualification of Linepipe production according to DNV-OS-F101

Pipe Dimension: ID 1016 mm, WT 25.4 mm

Design Temperature: Testing carried out for a minimum design temperature of -10°C

Pipe Designation: SAWL 485 FD

Plate Supplier: Voestalpine Grobblech GmbH - Linz, Austria

THIS IS TO STATE THAT:
Volzhsky Pipe Plant has demonstrated to be in compliance with DNV-OS-F101 for fabrication of linepipe with the designation and dimensions stated above.

Verification involvement:
The verification of the above production has included:

- Review of key production documents (MPS, ITP and NDT procedures)
- On-site monitoring of production
- Monitoring of pipe control and testing
- Review of MPQT report.

The detailed scope of work is described in the DNV reference document.

DNV reference document:
DNV report 2009-1951 - "Pipe Mill Qualification - SAWL line"
Qualification carried out in accordance with DNV-OSS-313.

Havik, Norway, 2009-12-30
for Det Norske Veritas AS



Morten Solmerdal
Project Manager



This Statement of Compliance is valid on the date of issue



Steinar Mathisen
Verifier, Custodian Unit

Except for any liability caused by DNV's gross negligence or willful misconduct, DNV's maximum cumulative liability arising out of or related to the use or reliance of this document shall be limited to USD 300,000.

DET NORSKE VERITAS AS, Veritaveien 1, NO-1322 Havik, Norway, Tel.: +47 87 57 99 00, Fax: +47 87 57 99 11, Org.No: NO 545 748 931 MVA. www.dnv.com
Form No.: ENE 10a Issue: April 2009 Page 1 of 1

ИТОГ

Установлено, что **высокими** механическими свойствами металла ОШЗ обладает сталь, содержащая **0,06% С** и ниобий в диапазоне **от 0,055 до 0,08%**. Стали с таким химическим составом обеспечивают высокие механические свойства металла ОШЗ в широком диапазоне скоростей охлаждения, которые характерны для сварки прямошовных труб (4-10 °С/с) и монтажных стыков трубопроводов (20-80 °С/с), что при определенных условиях может не потребовать предварительного подогрева металла перед сваркой монтажных стыков трубопроводов.

Спасибо за внимание