

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Боднарюк С., Егоров Н.Т.

Донецкий национальный технический университет

Интенсивное строительство трубопроводов большого диаметра для транспортировки природного газа на большие расстояния и работающих в сложных климатических условиях, в том числе и районах Крайнего Севера, требует постоянного совершенствования химического состава трубных сталей и технологий их производства. Увеличение давления в магистральных трубопроводах с 5,5 до 7,5 Н/мм², а в перспективе и до 10-12 Н/мм², привело к разработке и промышленному освоению малоперлитных низколегированных трубных сталей, обладающих повышенной прочностью, ударной вязкостью, хладостойкостью и свариваемости в заводских и полевых условиях [1].

В настоящее время для изготовления труб большого диаметра (1020-1420 мм) в отечественной практике наиболее широко используются малоуглеродистые микролегированные стали марок 09Г2ФБ, 10Г2ФБ, 10Г2ФБ-У, 10Г2СФБЮ, 08Г2ФБТ и другие, поставляемые по специальным техническим условиям.

Наиболее распространенными зарубежными сталями для изготовления хладостойких газопроводных труб большого диаметра являются стали категории прочности X-60 и X-70, производство которых осуществляется по техническим нормам Американского нефтяного института API 5L принятым во всем мире за общепризнанный стандарт.

Трубные стали отечественного и зарубежного производств по своему химическому составу практически не различаются и содержат в своем составе %: С 0,07-0,12; Мп 1,5-2,0; Si 0,25-0,50; Nb 0,04-0,08; V 0,05-0,08, Ti 0,02-0,05. Содержание алюминия в сталях не превышает 0,05%, азота 0,010 %. Особые стали, устойчивые к агрессивным средам (например сталь X65HIC), содержат не более 0,05% С, 1,4% Мп и 0,002% S.

В высокопрочных сталях категории прочности X80 и более в качестве микролегирующих элементов дополнительно применяются Mo, Ni, Cr, В. Для обеспечения высоких характеристик хладостойкости, устойчивости против сероводородного охрупчивания и стресс-коррозии содержание примесных элементов снижается до уровня: S ≤ 0,002-0,005%, P ≤ 0,025%, H₂ ≤ 2 ppm, Σ (As, Sb, Sn, Pb, Zn, Bi) ≤ 0,020% [2].

В таблице 1 приведен химический состав отечественных и зарубежных сталей для хладостойких газопроводных труб большого диаметра, а в таблице 2 – их механические свойства.

Таблица 1 – Химический состав отечественных и зарубежных сталей для хладостойких газопроводных труб большого диаметра

Марка стали	Массовая доля элементов (не более), %							
	C	Mn	Si	Nb	V	Ti	S	P
09Г2ФБ	0,13	1,70	0,35	0,05	0,09	0,035	0,007	0,020
10Г2ФБ	0,12	1,75	0,35	0,04	0,12	0,035	0,006	0,020
10Г2ФБЮ	0,12	1,75	0,50	0,05	0,12	0,035	0,006	0,020
08Г2ФБТ	0,10	2,00	0,50	0,06	0,08	0,05	0,005	0,020
X60	0,10	1,40	0,35	0,04	0,06	0,020	0,007	0,025
X70	0,09	1,7	0,35	0,04	0,08	0,020	0,003	0,020
X80	0,07	2,0	0,30	0,055	0,08	0,025	0,002	0,020

Технологические схемы производства листового проката для изготовления труб большого диаметра на зарубежных и отечественных станах близки между собой и предусматривают обязательное применение контролируемой прокатки.

В основном применяется низкотемпературная контролируемая прокатка, предусматривающая окончание деформации в двухфазной $\gamma + \alpha$ - области при температурах 710-730°C и последующее охлаждение на воздухе.

Таблица 2 – Механические свойства сталей для газопроводных труб большого диаметра

Марка стали (класс, группа прочности)	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	$KCV^{-20^\circ C}$, Дж/см ²	$KCU^{-60^\circ C}$, Дж/см ²	$DWTT^{-20^\circ C}$, %
				не менее		
09Г2ФБ (К56)	550-670	450-570	22	88	59	85
10Г2ФБ (К60)	590-690	480-580	22	98	69	90
10Г2ФБЮ (К60)	590-690	480-580	22	49	69	70
08Г2ФБТ (К65)	640-740	510-610	20	88	59	85
X60	517-617	434-534	22	88	59	80
X65	531-631	468-568	22	88	59	85
X70	565-665	502-602	22	88	59	80
X80	621-721	572-672	20	117	69	85

Такую технологию контролируемой прокатки в России и странах СНГ освоили на металлургических комбинатах «Азовсталь» (стан 3600), им. Ильича (стан 3000), Орско-Халиловском (ОАО «Уральская сталь») и Череповетском (станы 2800), ОАО «Северсталь» (стан 5000).

На ряде зарубежных фирм при производстве сталей класса прочности X70 и выше применяется также высокотемпературная контролируемая прокатка с окончанием деформации в аустенитной области (ниже температуры рекристаллизации аустенита) с последующим ускоренным регулируемым

охлаждением [3,4].

Классификация трубных сталей по прочностным характеристикам в стандартах России и странах СНГ отличается от их классификации по нормам американского стандарта API 5L.

В отечественных стандартах за основу классификации сталей по классам прочности принято временное сопротивление разрыву, выраженная в кгс/мм², а в стандарте API 5L – предел текучести в тысячах фунтов на кв. дюйм (PSI). Сравнительная характеристика прочностных свойств сталей отечественного и зарубежного производств представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика прочностных свойств отечественных и зарубежных сталей для труб большого диаметра

Стандарт России			Нормы API 5L		
Класс прочно-сти	Временное сопротивление разрыву, σ_B , не менее	Предел текучести, σ_T , не менее	Группа прочно-сти	Временное сопротивление разрыву, σ_B , не менее	Предел текучести, не менее
	Н/мм ² (кгс/мм ²)			Н/мм ² (PSI)	
K52	510 (52)	353 (36)	X60	517 (75000)	413 (60000)
K56	549 (56)	421 (43)	X65	530 (77000)	448 (65000)
K60	588 (60)	441 (45)	X70	565 (82000)	482 (70000)
K65	640 (65)	448 (50)	X80	620 (90000)	551 (80000)

Из представленных данных видно, что однозначное соответствие между отечественными марками трубных сталей с их прочностными свойствами и характеристиками зарубежных сталей согласно API 5L установить затруднительно. Наиболее близки по своим прочностным характеристикам отечественные и зарубежные марки сталей классов прочности K52-X60, K56-X65, K60-X70, K65-X80. В перспективе, по нашему мнению, целесообразно рассмотреть возможность разработки специального стандарта Российской Федерации для высокопрочных трубных сталей с их классификацией в соответствии с общепринятыми нормами API 5L.

Литература:

1. Лякишев Н.П. Сталь 10Г2АФ для сварных труб мощных газовых месторождений Сибири и Крайнего Севера / Н.П. Лякишев, Д.А. Литвиненко, С.А. Голованенко, и др. // сталь, 1982, №4. - С. 76-79.
2. Хулка К. Тенденция разработки сталей для труб большого диаметра / К. Хулка, П. Петрс, Ф. Хайстеркамп // Сталь, №10, 1997. – С.62-67.
3. Морозов Ю.Д. Применение термомеханической обработки для повышения прочности и хладостойкости высокопрочных трубных сталей / Ю.Д. Морозов, С.Ю. Настич, М.Ю. Матросов и др. // Бюллетень «Черметинформация», 2013, №4. – С.65-75.
4. Голованенко С.А. Новые стали и технологические схемы производства толстого листа для газопроводных труб большого диаметра / С.А. Голованенко // Металлы, 2003, №5. – С.36-46.