

Сварка, родственные процессы и технологии

Welding and related processes

Научная статья
УДК 621.643.07
DOI: 10.14529/met260106

ТРЕБОВАНИЯ СТАНДАРТОВ К ТРУБАМ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Г.В. Нестеров¹, grigoriy.nesterov@sinstc.ru

А.А. Юшин², 9018134@mail.ru

М.А. Ткачук³, mtkachuk87@gmail.com

¹ ООО «Синарастройкомплект», Екатеринбург, Россия

² Daou (Shaoxing) Technology Co., Ltd, Шаосин, Китай

³ АО «Газпром шельфпроект», Москва, Россия

Аннотация. В настоящее время для стран, обладающих большими запасами энергетических ресурсов в виде углеводородов, способ транспортировки природного газа, нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам до конечных потребителей до сих пор остается наиболее актуальным. При этом эксплуатационная надежность и безопасность данных трубопроводов в первую очередь зависит от качества их основных конструктивных элементов – труб. Нормирование качества труб является ключевым фактором, позволяющим решать вопросы обеспечения системной надежности и безопасности трубопроводного транспорта. В этой связи в статье проведен анализ технических требований различных стандартов на стальные сварные трубы большого диаметра, изготовленные сваркой под слоем флюса (по классификации иностранных стандартов – трубы SAW), для магистральных трубопроводов. Рассмотрены область применения и основные технические требования к трубам, приведенные в международном стандарте ISO 3183:2019, китайском стандарте GB/T 9711-2023, американском стандарте API Spec 5L, 46th edition, российских стандартах ГОСТ 31447–2012 и ГОСТ Р 56403–2015, канадском стандарте CSA Z245.1:22. В части геометрических параметров представлены допуски по толщине стенки, диаметру, допустимая овальность труб, их кривизна, параметры продольного сварного соединения. В части химического состава представлено допустимое содержание серы и фосфора, параметры свариваемости. Приведены требования к микроструктуре металла труб, значениям ударной вязкости и температурам испытаний. Результаты проведенного анализа имеющихся технических требований позволяют учитывать их при разработке новых и актуализации действующих стандартов, производить выбор нормативного документа, в соответствии с которым должны изготавливаться трубы для вновь проектируемых магистральных трубопроводов.

Ключевые слова: труба для магистрального трубопровода, труба электросварная под слоем флюса, стандарт, геометрические параметры, химический состав, микроструктура, механические свойства

Для цитирования: Нестеров Г.В., Юшин А.А., Ткачук М.А. Требования стандартов к трубам большого диаметра // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2026. Т. 26, № 1. С. 41–52. DOI: 10.14529/met260106

STANDARD REQUIREMENTS FOR LARGE DIAMETER PIPES

G.V. Nesterov¹, grigoriy.nesterov@sinstc.ru

A.A. Iushin², 9018134@mail.ru

M.A. Tkachuk³, mtkachuk87@gmail.com

¹ LLS "Sinarstroykomplekt", Ekaterinburg, Russia

² Daou (Shaoxing) Technology Co., Ltd, Shaoxing, China

³ JSC "Gazprom Shelfproekt", Moscow, Russia

Abstract. Currently, for countries with large reserves of energy resources in the form of hydrocarbons, the method of transporting natural gas, oil and petroleum products through trunk pipelines to users is still the most relevant. At the same time, the operational reliability and safety of these pipelines primarily depends on the quality of their main structural elements – pipes. Pipe quality regulation is a key factor for addressing issues of ensuring the system reliability and safety of pipeline transport. In this regard, the article analyzes the technical requirements of various standards for large diameter welded steel pipes made by welding under a layer of flux (according to the classification of foreign standards – SAW pipes) for trunk pipelines. The scope of application and the main technical requirements for pipes are considered, given in the international standard ISO 3183:2019, the Chinese standard GB/T 9711-2023, the American standard API Spec 5L, 46th edition, the Russian standards GOST 31447–2012 and GOST R 56403–2015, the Canadian standard CSA Z245.1:22. In terms of geometric parameters, the tolerances for wall thickness, diameter, permissible ovality of pipes, their curvature, and parameters of the longitudinal welded joint are presented. In terms of chemical composition, the permissible sulfur and phosphorus content and weldability parameters are presented. The requirements for microstructure of metal of pipes, values of impact strength and test temperatures are given. The results of the analysis of the existing technical requirements make it possible to take them into account when developing new and updating existing standards, and to select a regulatory document according to which pipes for newly designed trunk pipelines should be manufactured.

Keywords: pipe for trunk pipeline, electro-welded pipe under a layer of flux, standard, geometric parameters, chemical composition, microstructure, mechanical properties

For citation: Nesterov G.V., Iushin A.A., Tkachuk M.A. Standard requirements for large diameter pipes. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2026;26(1):41–52. (In Russ.) DOI: 10.14529/met260106

В настоящее время экономическое положение стран в значительной мере определяется наличием у них необходимых энергетических ресурсов в виде углеводородов, поставляемых по магистральным трубопроводам больших диаметров (508 мм и более). Основным конструкционным элементом для сооружения таких трубопроводов являются стальные трубы диаметром 508 мм и более, сваренные дуговой сваркой под слоем флюса (SAW). Параметры труб определяются различными стандартами, в соответствии с которыми эти трубы изготавливаются. Технические требования стандартов, как правило, похожи, но имеют некоторые особенности и отличия. Анализ имеющихся технических требований позволяет учитывать их при разработке новых и актуализации действующих стандартов, производить выбор нормативного документа, в соответствии с которым должны изготавливаться трубы для

вновь проектируемых магистральных трубопроводов. Поэтому соответствующий анализ регулярно проводится [1–4].

Среди действующих в настоящее время и применяемых нормативных документов на трубы SAW можно выделить следующие:

– ISO 3183:2019. Petroleum and natural gas industries – Steel pipe for pipeline transportation systems – 4-е издание международного стандарта, введённого в действие в октябре 2019 года [5];

– GB/T 9711-2023. Petroleum and natural gas industries – Steel pipe for pipeline transportation systems – 5-е издание стандарта на трубы, широко используемого в Китае и введённого в действие 1 марта 2024 года [6];

– API Spec 5L Line pipe, 46th edition – стандарт, подготовленный American Petroleum Institute и введённый в действие в апреле 2018 года [7];

– ГОСТ 31447–2012. Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия – российский стандарт, введенный в действие 1 января 2015 года [8];

– ГОСТ Р 56403–2015. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Трубы стальные сварные. Технические условия – российский национальный стандарт на трубы для нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, введенный в действие 1 января 2016 года [9];

– CSA Z245.1:22 Steel pipe – 11-е издание стандарта, подготовленного Canadian Standards Association и введенного в действие в августе 2022 года [10].

В данной статье рассматривается область применения указанных выше стандартов и возможные исполнения электросварных труб большого диаметра, изготовленных сваркой под слоем флюса, проводится сравнительный анализ технических требований к геометрическим параметрам, химическому составу и микроструктуре, механическим свойствам основного металла и сварных соединений труб.

Область применения рассматриваемых стандартов представлена в табл. 1. Из табл. 1 видно, что российские стандарты имеют ограничение по максимально допустимому рабочему давлению. В других рассматриваемых стандартах такое ограничение отсутствует.

Ограничения по максимальному диаметру труб в ГОСТ 31447–2012 и ГОСТ Р 56403–2015 связаны со следующим: максимальный

диаметр магистральных газопроводов в России 1420 мм, максимальный диаметр магистральных нефтепроводов – 1220 мм.

Все рассматриваемые стандарты, кроме CSA Z245.1:22, допускают изготовление двухшовных труб.

Также все стандарты предусматривают изготовление труб различного уровня (исполнения), который определяет качество их основного металла и сварных соединений, количество и периодичность проводимых испытаний.

Весьма актуальной является возможность изготовления высокопрочных труб, предусмотренная в стандартах, так как применение таких труб обеспечивает снижение общей металлоемкости при строительстве магистральных трубопроводов за счет уменьшения массы труб (уменьшения толщины стенки) без уменьшения их несущей способности. В связи с этим проводились соответствующие теоретические и экспериментальные исследования, направленные на освоение производства высокопрочной трубной продукции, например, для перспективного газопровода «Сила Сибири – 2», прокладка которого планируется из России в Китай через Монголию [11–18].

Стандарты ISO 3183:2019, GB/T 9711-2023, API Spec 5L, 46th edition и CSA Z245.1:22 допускают изготовление высокопрочных труб с пределом текучести более 485 МПа (категория прочности X70 и более). Максимальные нормативные значения предела текучести металла труб по ISO 3183:2019, GB/T 9711-2023, API Spec 5L, 46th edition составляют 830 МПа,

Таблица 1

Область применения стандартов исполнения труб

Table 1

Scope of application of standards pipe designs

Параметр	Стандарт					
	ISO 3183:2019	GB/T 9711-2023	API 5L, 46 th edition	CSA Z245.1:22	ГОСТ 31447–2012	ГОСТ Р 56403–2015
Макс. рабочее давление, МПа	–	–	–	–	9,8	9,8
Наружный диаметр труб, мм	60,3–2134	60,3–2134	60,3–2134	21,3–2032	73–1420	114–1220
Вид сварных труб	Прямошовные с одним и двумя швами, спирально-шовные	Прямошовные с одним и двумя швами, спирально-шовные	Прямошовные с одним и двумя швами, спирально-шовные	Прямошовные с одним швом, спирально-шовные	Прямошовные с одним и двумя швами, спирально-шовные	Прямошовные с одним и двумя швами
Исполнение труб	PSL 1 и PSL 2	PSL 1 и PSL 2	PSL 1 и PSL 2	I, II, III	У и ХЛ	I, II, III
Категории (классы) прочности труб	A25 – X120 ¹	A – X120 ²	A25 – X120 ²	241 – 825 ³	K34 – K60	K34 – K60

Примечания:

¹ Трубы для европейских наземных газопроводов должны быть категорий прочности В – X80.

² Трубы, устойчивые к вязкому разрушению, изготавливают категорий прочности В – X80.

³ Цифровые обозначения категории прочности равны минимальным значениям предела текучести в МПа.

по CSA Z245.1:22 – 825 МПа. В ГОСТ 31447–2012 и ГОСТ Р 56403–2015 максимальное нормативное значение предела текучести металла труб – 460 МПа. При этом необходимо отметить, что в настоящее время крупные российские нефтегазовые компании имеют собственную нормативно-техническую базу и занимаются самостоятельной разработкой корпоративных стандартов, которые допускают изготовление высокопрочных труб большого диаметра [19].

Можно отметить, что технические требования стандарта ISO 3183:2019 в целом идентичны техническим требованиям API Spec 5L, 46th edition. Имеются только небольшие изменения в части маркировки и приложение, в котором определены технические требова-

ния к трубам для европейских наземных газопроводов. Далее будут рассматриваться именно эти технические требования (технические требования к трубам для европейских наземных газопроводов, приведённые в приложении А ISO 3183:2019).

Анализ требований к геометрическим параметрам

Одними из наиболее важных параметров труб, определяющих качество монтажных работ при строительстве магистральных трубопроводов, являются их геометрические параметры.

Технические требования к геометрическим параметрам труб с наружным диаметром 508 мм и более, изготовленных с помощью сварки под слоем флюса, приведены в табл. 2.

Требования к геометрическим параметрам сварных труб SAW

Таблица 2

Table 2

Requirements for geometric parameters of SAW welded pipes

Параметр	Стандарт					
	ISO 3183:2019 ¹	GB/T 9711-2023	API 5L, 46 th edition	CSA Z245.1:22	ГОСТ 31447–2012	ГОСТ Р 56403–2015
Длины труб, м	Указывается при заказе	Указывается при заказе	Указывается при заказе	Указывается при заказе	10,5–12,5	10,5–12,2
Минусовой допуск по толщине стенки труб, мм, не более	$t \leq 10 - 0,5$; $10 < t < 20 - 0,05t$; $t \geq 20 - 1,0$	$t < 15 - 0,1t$; $t \geq 15 - 1,5$	$t < 15 - 0,1t$; $t \geq 15 - 1,5$	0,08t	$t \leq 16 - 0,05t$; $t > 16 - 0,8$	0,05t, но не более 0,8
Отклонения от номинального диаметра на концах труб, мм, не более	$D \leq 610 - \pm 0,5$; $610 < D \leq 1422 - \pm 1,6$; $1422 < D -$ по согласию	$\pm 1,6$; $1422 < D -$ по согласию	$\pm 1,6$; $1422 < D -$ по согласию	$\pm 1,6$	$\pm 1,6$	$D \leq 820 - \pm 1,5$ $D > 820 - \pm 1,6$
Отклонения от номинального диаметра корпуса труб, мм, не более	$D \leq 610 - \pm 3,0$; $610 < D \leq 1422 - 0,005D$, но не более $\pm 4,0$; $1422 < D -$ по согласию	$D \leq 610 - \pm 3,2$; $610 < D \leq 1422 - \pm 0,005D$, но не более $\pm 4,0$; $1422 < D -$ по согласию	$D \leq 610 - \pm 3,2$; $610 < D \leq 1422 - \pm 0,005D$, но не более $\pm 4,0$; $1422 < D -$ по согласию	Для неэкспандированных труб $\pm 1,00\%$; для экспандированных труб $\pm 0,50\%$	$\pm 3,0$	$\pm 3,0$
Овальность концов труб, мм, не более	$D \leq 610 - 0,015D$; $610 < D \leq 1422 - 0,01D$, но не более 13 для $D/t \leq 75$; 0,015D для $D/t > 75$; $1422 < D -$ по согласию	$D \leq 610 - 0,015D$; $610 < D \leq 1422 - 0,01D$, но не более 13 для $D/t \leq 75$; по согласию для $D/t > 75$; $1422 < D -$ по согласию	$D \leq 610 - 0,015D$; $610 < D \leq 1422 - 0,01D$, но не более 13 для $D/t \leq 75$; по согласию для $D/t > 75$; $1422 < D -$ по согласию	$D \leq 1067 -$ не более 12,7; $D > 1067 -$ не более 15,9 для $D/t \leq 75$; 0,01D для $D/t > 75$	$t \leq 20 - 0,01D$; $t > 20 - 0,008D$	$t \leq 20 - 0,01D$; $t > 20 - 0,008D$
Овальность корпуса труб, мм, не более	$D \leq 610 - 0,020D$; $610 < D \leq 1422 - 0,015D$, но не более 15 для $D/t \leq 75$; 0,02D для $D/t > 75$; $1422 < D -$ по согласию	$D \leq 610 - 0,020D$; $610 < D \leq 1422 - 0,015D$, но не более 15 для $D/t \leq 75$; по согласию для $D/t > 75$; $1422 < D -$ по согласию	$D \leq 610 - 0,020D$; $610 < D \leq 1422 - 0,015D$, но не более 15 для $D/t \leq 75$; по согласию для $D/t > 75$; $1422 < D -$ по согласию	–	–	–

Окончание табл. 2
Table 2 (end)

Параметр	Стандарт					
	ISO 3183:2019 ¹	GB/T 9711-2023	API 5L, 46 th edition	CSA Z245.1:22	ГОСТ 31447–2012	ГОСТ Р 56403–2015
Локальная кривизна труб, мм, не более	–	3,2 ²	3,2 ²	–	1,5 ³	1,5 ³
Общая кривизна, % от длины трубы, не более	–	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Отклонение формы трубы от теоретической окружности на концах труб в зоне сварного соединения, мм, не более	–	–	–	3	0,0015D	0,0015D
Косина реза, мм, не более	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Высота усиления внутренних швов, мм, не более	3,0	3,5	3,5	4,0	3,5	t ≤ 10 – 2,5; t > 10 – 3,0
Высота усиления наружных швов, мм, не более	t ≤ 15 – 3,0; t > 15 – 4,0	t ≤ 13 – 3,5; t > 13 – 4,5	t ≤ 13 – 3,5; t > 13 – 4,5	4,0	3,0	
Смещение кромок, мм, не более	t ≤ 10 – 1,0; 10 < t ≤ 20 – 0,1t; t > 20 – 2,0	t ≤ 15 – 1,5; 15 < t ≤ 25 – 0,1t; t > 25 – 2,5	t ≤ 15 – 1,5; 15 < t ≤ 25 – 0,1t; t > 25 – 2,5	0,1t, но не более 0,8 (для концов трубы); 0,1t, но не более 1,5 (для тела трубы)	0,1t, но не более 3,0	t ≤ 10 – 1,0; 10 < t ≤ 20 – 0,1t; t > 20 – 2,0
Смещение осей наружного и внутреннего сварных швов, мм, не более	–	t ≤ 20 – 3,0; t > 20 – 4,0	t ≤ 20 – 3,0; t > 20 – 4,0	–	t ≤ 21 – 3,0; t > 21 – 0,15t	t ≤ 10 – 3,0; t > 10 – 4,0

Примечания:

¹ Указаны параметры труб для европейских наземных газопроводов.

² Локальная кривизна измеряется на длине 1,5 м только на концах труб.

³ Локальная кривизна измеряется на длине 1,0 м в любом месте (на концах или по телу труб).

D – номинальный наружный диаметр трубы; t – толщина стенки трубы.

По результатам анализа технических требований в табл. 2 можно выделить некоторые отличия в стандартах.

Так, в ISO 3183:2019, CSA Z245.1:22, ГОСТ 31447–2012 и ГОСТ Р 56403–2015 установлен более жёсткий минусовой допуск на толщину стенки труб, чем в GB/T 9711-2023, API Spec 5L, 46th edition, допуски в которых одинаковы.

В стандарте CSA Z245.1:22 произведено разделение допуска по отклонению от номи-

нального диаметра корпуса труб в зависимости от того, проводится при производстве экспандирование или нет. Установленный допуск превышает допустимые значения, регламентированные в других стандартах. При этом необходимо отметить, что данный параметр будет оказывать влияние на качество монтажных работ при строительстве трубопроводов только в случае необходимости порезки труб. В ином случае влияние на качество сборки будет отсутствовать. Этим объясняется то, что

допуск по отклонению концов труб, как правило, устанавливается более жёстким, чем допуск по отклонению корпуса труб.

Требования к овальности концов труб ISO 3183:2019, GB/T 9711-2023, API Spec 5L, 46th edition, ГОСТ 31447–2012 и ГОСТ Р 56403–2015 аналогичны. Допустимая овальность концов труб по CSA Z245.1:22 больше, чем в других стандартах. Но овальность труб при монтажных работах при строительстве трубопроводов может быть компенсирована с помощью вращения труб для обеспечения требуемого смещения кромок в кольцевом стыке при сборке и последующей сварке.

Допустимая овальность корпуса труб по ISO 3183:2019, GB/T 9711-2023, API Spec 5L, 46th edition почти идентична. Имеются только небольшие отличия в требованиях к тонкостенным трубам для европейских наземных газопроводов. В CSA Z245.1:22, ГОСТ 31447–2012 и ГОСТ Р 56403–2015 требования к допустимой овальности корпуса труб не установлены. По мнению авторов устанавливать техническое требование по контролю овальности корпуса трубы нецелесообразно по двум основным причинам. Во-первых, данный параметр сложно контролировать при производстве без применения специальных автоматизированных средств измерения. Во-вторых, параметр не оказывает влияния на качество сборки трубопровода при строительстве. В случае необходимости порезки труб параметр на конце отрезка трубы не будет обеспечиваться (будет отличаться от исходного из-за наличия в металле трубы остаточных напряжений).

В стандартах GB/T 9711-2023, API Spec 5L, 46th edition, ГОСТ 31447–2012 и ГОСТ Р 56403–2015 имеется требование по контролю локальной кривизны труб. При этом согласно GB/T 9711-2023 и API Spec 5L, 46th edition контроль проводят только на концах труб длиной 1,5 м от торца, а согласно требованиям российских стандартов локальную кривизну контролируют на всей длине труб на длине 1,0 м.

В CSA Z245.1:22, ГОСТ 31447–2012 и ГОСТ Р 56403–2015 имеется требование по измерению отклонения формы трубы от теоретической окружности: на концах труб в зоне сварного соединения в ГОСТ 31447–2012, и по всей поверхности трубы в ГОСТ Р 56403–2015 и CSA Z245.1:22. Наличие данного требования по мнению авторов чрезвычайно

важно, так как оно позволяет избегать наличия в зоне сварных швов труб дефектов в виде «блока» или «домика» («крыши»). Дефекты могут образовываться при недостаточной или, наоборот, излишней деформации металла кромок листового проката в процессе формовки при производстве труб. Наличие таких дефектов на трубах при монтажных работах при строительстве магистрального трубопровода может приводить к ненормативному смещению кромок в кольцевом сварном соединении.

Практическая необходимость наличия данного требования была подтверждена при освоении на Челябинском трубопрокатном заводе производства двухшовных труб диаметром 2520 мм.

Наиболее жёсткий допуск по смещению кромок в сварных соединениях труб установлен в CSA Z245.1:22. Допуски в GB/T 9711-2023 и API Spec 5L, 46th edition идентичны. Также идентичны допуски в ISO 3183:2019 и ГОСТ Р 56403–2015.

Наиболее жёсткий допуск по смещению осей наружного и внутреннего сварных швов установлен в ГОСТ Р 56403–2015. Данный допуск для труб, предназначенных для строительства наземных европейских газопроводов, согласно ISO 3183:2019 и в стандарте CSA Z245.1:22 отсутствует.

Анализ требований к химическому составу и микроструктуре

Значительное влияние на надёжность и безопасность магистральных трубопроводов оказывает качество металла труб, из которого они изготовлены. В свою очередь на качество металла, его вязко-пластические характеристики, параметры свариваемости в первую очередь оказывает влияние его химический состав, наличие вредных примесей (серы и фосфора) и микроструктура.

В табл. 3 представлены требования различных стандартов к допустимому содержанию в металле труб массовых долей серы, фосфора, к допустимым значениям параметров свариваемости (углеродный эквивалент $C_{\text{экв}}$ (CE_{IIW} в иностранных стандартах) и P_{cm} (CE_{Pcm} в иностранных стандартах), к параметрам микроструктуры металла.

В части требований к химическому составу можно отметить следующие основные особенности:

– требования GB/T 9711-2023 и API Spec 5L, 46th edition идентичны;

Требования к химическому составу и микроструктуре металла труб
Requirements for the chemical composition and microstructure of pipe metal

Таблица 3

Table 3

Параметр	Стандарт					
	ISO 3183:2019 ¹	GB/T 9711-2023	API 5L, 46 th edition	CSA Z245.1:22	ГОСТ 31447–2012	ГОСТ Р 56403–2015
Содержание массовой доли серы, %, не более	0,015	PSL 1: 0,030 PSL 2: 0,015 – ≤ X80; 0,010 – > X80	PSL 1: 0,030 PSL 2: 0,015 – ≤ X80; 0,010 – > X80	0,035	По свойствам исходного проката	0,020/0,010/0,005 ²
Содержание массовой доли фосфора, %, не более	0,020	PSL 1: 0,030 PSL 2: 0,025 – ≤ X80; 0,020 – > X80	PSL 1: 0,030 PSL 2: 0,025 – ≤ X80; 0,020 – > X80	0,030	По свойствам исходного проката	0,020/0,015/0,012 ²
Углеродный эквивалент $C_{экв}$ (CE_{IIW}), не более	0,40–0,43	0,43 ³	0,43 ³	0,40 ⁴	0,44	0,43/0,42/0,41 ²
Углеродный эквивалент P_{cm} (CE_{Pcm}), не более	0,25	0,25 ³	0,25 ³	–	0,24	0,24/0,23/0,21 ²
Величина зерна, номер, не крупнее	–	– ⁵	–	–	–	7/8/9 ²
Полосчатость, балл, не более	–	– ⁵	–	–	–	3

Примечания:

¹ Указаны параметры труб для европейских наземных газопроводов.

² В зависимости от уровня качества труб.

³ Параметры определяются только для уровня PSL 2.

⁴ Расчётная формула отличается от принятой в других стандартах.

⁵ Требования могут быть установлены при заказе труб, устойчивых к вязкому разрушению.

– CSA Z245.1:22 допускает содержание в металле большего количества вредных примесей, чем другие стандарты;

– в ГОСТ 31447–2012 конкретных требований не установлено, допустимое содержание массовой доли серы и фосфора определяется их содержанием в исходном прокате;

– ГОСТ Р 56403–2015 (кроме труб первого уровня качества) устанавливает наиболее жёсткие требования по содержанию в металле массовой доли серы и фосфора.

Стандарт CSA Z245.1:22 предусматривает расчёт CE_{IIW} (т. е. $C_{экв}$) по формуле, отличающейся от других стандартов, требований по определению CE_{Pcm} (т. е. P_{cm}) не предъявляет.

Касательно требований к микроструктуре (величина зерна и полосчатость) можно отметить, что данные требования имеются только в ГОСТ Р 56403–2015, а согласно GB/T 9711-2023 требования могут быть установлены при заказе труб, устойчивых к вязкому разрушению.

Анализ требований к механическим свойствам

Важными показателями, определяющими прочность и пластичность труб, способность их металла противостоять распространению трещиноподобных дефектов, являются их механические свойства. Максимально допустимые категории (классы) прочности указаны выше в тексте данной статьи, а требования различных стандартов к другим основным механическим свойствам основного металла и сварных швов труб, изготовленных сваркой под флюсом, представлены в табл. 4.

По результатам анализа данных табл. 4 можно отметить, что в ГОСТ Р 56403–2015 для труб третьего уровня качества имеются требования по относительному равномерному удлинению и параметру трещиностойкости (СТОД) основного металла и сварного соединения. Относительное равномерное удлинение определяется при растяжении 10-кратных образцов до образования на них шейки. Данные требования в других рассматривае-

Таблица 4

Требования к механическим свойствам труб
Requirements for mechanical properties of pipes

Table 4

Параметр	Стандарт					
	ISO 3183:2019 ¹	GB/T 9711-2023	API 5L, 46 th edition	CSA Z245.1:22	ГОСТ 31447– 2012	ГОСТ Р 56403– 2015
Отн. равномерное удлинение, %, не менее	–	–	–	–	–	6 ²
CTOD о. м. / св. ш., мм, не более	–	– ³	– ³	–	–	0,20/0,15 ²
Ударная вязкость о. м. KCV, Дж/см ² , не менее	40–120 ⁴	27–108 ⁴	27–108 ⁴	18–40 ⁵	31–108 ⁶	59–137 ⁷
Ударная вязкость св. ш. KCV, Дж/см ² , не менее	40	27 – D < 1422, grade ≤ X80 40 – D ≥ 1422 40 – grade > X80	27 – D < 1422, grade ≤ X80 40 – D ≥ 1422 40 – grade > X80	18 ⁵	25–34 ⁶	29–54 ⁷
Температура при определении ударной вязкости KCV, °C	0 ⁸	0 ⁸	0 ⁸	Указывается при заказе	0/–20 ⁹	–5/–20/–40 ¹⁰
Твердость о. м. не более ¹¹	–	В зависимости от категории прочности	345 HV10	225 HV30	–	250 HV10
Твердость св. ш., не более	–	–	–	24 HRC	–	260 HV10

Примечания:

¹ Указаны параметры труб для европейских наземных газопроводов.

² Испытания проводятся только для труб третьего уровня качества.

³ Испытание может быть проведено при наличии требования в заказе при квалификации.

⁴ В зависимости от диаметра и категории прочности.

⁵ В зависимости от исполнения труб.

⁶ В зависимости от диаметра и рабочего давления.

⁷ В зависимости от диаметра.

⁸ По согласованию может быть установлена более низкая температура испытания.

⁹ В зависимости от исполнения труб (0 °C для обычного исполнения, минус 20 °C для хладостойкого исполнения).

¹⁰ В зависимости от уровня качества труб (минус 5 °C для первого уровня, минус 20 °C для второго уровня, минус 40 °C для третьего уровня).

¹¹ В соответствии с GB/T 9711-2023 оценивается твердость HV10 для тела трубы уровня PSL 2.

мых стандартах не регламентируются. При этом необходимо отметить, что в настоящее время трубы третьего уровня качества по ГОСТ Р 56403–2015 не производятся, так как текущая потребность в такой продукции отсутствует.

Стандарт GB/T 9711-2023 предусматривает возможность оценки CTOD основного металла и сварных соединений при наличии требований в заказе при квалификации труб.

Значения ударной вязкости в различных стандартах зависят от категории (класса) прочности труб, диаметра и рабочего давления трубопровода. В целом можно отметить, что требования к значениям ударной вязкости, установленные в ГОСТ Р 56403–2015, превышают требования, установленные в API Spec 5L, 46th edition и GB/T 9711-2023, которые явля-

ются идентичными (это касается категорий прочности до X70 включительно).

Наиболее низкие технические требования к значениям ударной вязкости установлены в стандарте CSA Z245.1:22.

Значительное влияние на значения ударной вязкости оказывает температура проведения испытаний (с понижением температуры ударная вязкость уменьшается).

В этой связи следует отметить, что ISO 3183:2019, API Spec 5L, 46th edition и GB/T 9711-2023 по умолчанию предусматривают проведение испытаний на ударный изгиб при 0 °C, при этом по согласованию температура может быть ниже. В связи с этим при заказе труб по указанным стандартам температура испытаний, как правило, указывается другой.

CSA Z245.1:22 конкретную температуру не определяет, она должна устанавливаться при заказе труб.

ГОСТ 31447–2012 определяет значение температуры образцов при проведении испытаний на ударный изгиб на уровне 0 °С для труб обычного исполнения и минус 20 °С для труб хладостойкого исполнения.

ГОСТ Р 56403–2015 предусматривает проведение испытаний основного металла и сварных соединений для всех трёх уровней качества труб при отрицательных температурах. При этом можно отметить, что хотя стандарт распространяется только на трубы для магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов и температура стенки трубопровода при эксплуатации не может быть отрицательной, проведение испытаний по оценке ударной вязкости при отрицательных температурах целесообразно, так как это позволяет оценить качество основного металла и сварных соединений труб, изготовленных дуговой сваркой под слоем флюса.

ISO 3183:2019 требований к твёрдости основного металла труб для наземных европейских газопроводов не предъявляет. Также требования по твёрдости отсутствуют в ГОСТ 31447–2012. В стандарте GB/T 9711-2023 требования по твёрдости относительно API Spec 5L, 46th edition изменены и установлены в зависимости от категории прочности труб, максимальное значение при этом не превышает 310 для HV 10.

Требования к максимально допустимым значениям твёрдости сварного соединения имеются в стандарте CSA Z245.1:22 и ГОСТ Р 56403–2015. При этом следует отметить, что в канадском стандарте предусмотрено использование шкалы Роквелла, а во всех других рассматриваемых стандартах используется шкала Виккерса.

В целом по результатам анализа технических требований различных стандартов можно отметить следующее:

– иностранные стандарты предусматривают изготовление высокопрочных труб большого диаметра (категории прочности X70 и более). В российских стандартах такая возможность отсутствует. Но такие трубы могут быть изготовлены в соответствии с корпоративными стандартами крупных отечественных нефтегазовых компаний;

– основные технические требования стандарта ISO 3183:2019 идентичны техническим

требованиям API Spec 5L, 46th edition (2018). В приложении А ISO 3183:2019 приведены дополнительные технические требования к трубам для европейских наземных газопроводов;

– стандарт GB/T 9711-2023 разработан на основе предыдущих версий стандарта и технических требований ISO 3183:2019. В китайском стандарте имеются некоторые изменения по сравнению с ISO 3183:2019. Например, при заказе труб возможно устанавливать требование по контролю микроструктуры металла (для труб, устойчивых к разрушению), параметру трещиностойкости CTOD. Введён обязательный контроль твёрдости основного металла труб;

– наиболее полные и жёсткие требования по мнению авторов установлены в ГОСТ Р 56403–2015.

Выводы

Рассмотрены основные технические требования различных стандартов на стальные сварные трубы, изготовленные сваркой под флюсом.

Рассматривались международный стандарт ISO 3183:2019, китайский стандарт GB/T 9711-2023, американский стандарт API Spec 5L, 46th edition, российские стандарты ГОСТ 31447–2012 и ГОСТ Р 56403–2015, канадский стандарт CSA Z245.1:22.

Проанализированы области применения стандартов, технические требования к геометрическим параметрам труб, химическому составу и микроструктуре металла труб, механическим свойствам труб.

ISO 3183:2019, GB/T 9711-2023, API Spec 5L, 46th edition и CSA Z245.1:22 допускают изготовление высокопрочных труб категории прочности X70 и более, применение которых обеспечивает снижение общей металлоёмкости при строительстве магистрального трубопровода. ГОСТ 31447–2012 и ГОСТ Р 56403–2015 изготовление таких труб не предусматривают.

В ГОСТ Р 56403–2015 имеются дополнительные технические требования, направленные на поставку высококачественных труб в регионы с холодным климатом.

Информация о финансовой поддержке

Финансовая поддержка при формировании статьи не оказывалась.

Список литературы

1. Analysis of New Edition of Standard GB/T 9711 for Steel Linepipe / Song Haihui, Zhang Wanpeng, Xue Leihong et al. // *Steel Pipe*. 2024. Vol. 53, no. 3. P. 89–94. DOI: 10.19938/j.steelpipe.1001-2311.2024.3.89.94
2. Гусева Т.А., Кершенбаум В.Я., Поликарпов М.П. Нормативная документация на трубы для магистральных трубопроводов как фактор выпуска конкурентоспособной продукции // *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*. 2018. № 4. С. 69–76. DOI: 10.30713/1999-6934-2018-4-69-76. EDN: XVLVSH.
3. Совершенствование системы оценки соответствия с целью повышения качества трубной продукции / О.В. Аралов, И.В. Буянов, С.И. Вьюнов, М.А. Ткачук // *Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов*. 2021. Т. 11, № 3. С. 228–337. DOI: 10.28999/2541-9595-2021-11-3-328-337. EDN: XFWRRO.
4. Казанцева Н.К., Ткачук Г.А., Смирнова Ю.О. О стандартах на трубную продукцию // *Производство проката*. 2015. № 2. С. 43–48. EDN: TICUIH.
5. ISO 3183:2019. Petroleum and natural gas industries – Steel pipe for pipeline transportation systems // ISO: офиц. сайт. URL: <https://www.iso.org/standard/76676.html> (дата обращения: 26.06.2025). Режим доступа: после приобретения.
6. GB/T 9711-2023. Petroleum and natural gas industries – Steel pipe for pipeline transportation systems // GB China National Standards. URL: https://gbstandards.org/GB_standard_english.asp?code=GB/T%209711-2023 (дата обращения: 26.06.2025). Режим доступа: после приобретения.
7. API Spec 5L Line pipe, 46th edition (2018). *API: офиц. сайт*. URL: <https://www.apiwebstore.org/standards/5L> (дата обращения: 26.06.2025). Режим доступа: после приобретения.
8. ГОСТ 31447–2012. Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия // Кодекс: электрон. фонд правовых и норматив.-техн. док. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103347> (дата обращения: 26.06.2025).
9. ГОСТ Р 56403–2015. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Трубы стальные сварные. Технические условия // Кодекс: электрон. фонд правовых и норматив.-техн. док. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200120579> (дата обращения: 26.06.2025).
10. CSA Z245.1:22. Steel pipe // CSA Group: офиц. сайт. URL: <https://www.csagroup.org/store> (дата обращения: 26.06.2025). Режим доступа: после приобретения.
11. Нестеров Г.В., Задубровская О.А. Трубы класса прочности K65, K70 для строительства магистральных нефтепроводов // *Сборник трудов международной конференции «Производство, испытания и практическое использования труб большого диаметра категорий прочности X80/X90»*. М.: Metallurgizdat, 2013. С. 74–76.
12. Эфрон Л.И. *Металловедение в «большой» металлургии. Трубные стали*. М.: Metallurgizdat, 2012. 696 с.
13. Развитие технологий ТМКП на МКС 5000 и их применение при реализации проектов трубопроводов с экстремальными параметрами / В.И. Ильинский, С.В. Головин, М.А. Ткачук и др. // *Развитие технологий производства стали, проката и труб на Выксунской производственной площадке: сб. тр. / под ред. А.М. Барыкова*. М.: Metallurgizdat, 2016. С. 340–377.
14. В России успешно испытали высокопрочные трубы ОМК нового поколения // АО «ОМК»: официальный сайт. URL: <https://omk.ru/press/news/51500/> (дата обращения: 26.06.2024).
15. Трубы производства ТМК ТР для газопроводов высокого давления успешно прошли испытания // ПАО «ТМК»: официальный сайт. URL: https://chtpz.tmk-group.ru/chtpz_news/4513 (дата обращения: 26.06.2024).
16. Черепанов М. Силы Урала для СИЛЫ СИБИРИ // *Трасса Газпром трансгаз Екатеринбург*. 2023. № 4 (477). С. 1, 4.
17. Разработка технологии производства проката и труб большого диаметра классов прочности K70-K80 на давление 14,7 МПа на Выксунском заводе ОМК / П.П. Степанов, С.В. Головин, М.В. Самохвалов и др. // *Металлург*. 2024. № 11. С. 12–22. DOI: 10.52351/00260827_2024_11_12. EDN: FYDQPE.
18. Современные технологии производства плоского проката из низкоуглеродистых микролегированных сталей / П.П. Степанов, А.В. Мунтин, Л.И. Эфрон и др. М.: Metallurgizdat, 2024. 456 с.

19. Нестеров Г.В. Сравнение технических требований к трубам большого диаметра // Трубопроводный транспорт (Теория и практика). 2023. № 3 (85). С. 8–13. EDN: BGQCQZ.

References

1. Song Haihui, Zhang Wanpeng, Xue Leihong, Zhu Shaohua, Gao Xia, Wang Hanyun. Analysis of New Edition of Standard GB/T 9711 for Steel Linepipe. *Steel Pipe*. 2024;53(3):89–94. DOI: 10.19938/j.steelpipe.1001-2311.2024.3.89.94
2. Guseva T.A., Kershenbaum V.Ya., Polikarpov M.P. Regulatory documentation on pipes for main pipelines as a factor of competitive products production. *Equipment and Technologies for Oil and Gas Complex*. 2018;(4):69–76. (In Russ.) DOI: 10.30713/1999-6934-2018-4-69-76. EDN: XVLVSH.
3. Aralov O.V., Buyanov I.V., Vyunov S.I., Tkachuk M.A. Improvement of the conformity assessment system for the improvement of pipe products quality. *Equipment and Technologies for Oil and Gas Complex*. 2021;11(3):228–337. (In Russ.) DOI: 10.28999/2541-9595-2021-11-3-328-337. EDN: XFWRRO.
4. Kazantseva N.K., Tkachuk G.A., Smirnova Yu.O. [About standards for pipe products]. *Rolling*. 2015;(2):43–48. (In Russ.) EDN: TICUIH.
5. ISO 3183:2019. Petroleum and natural gas industries – Steel pipe for pipeline transportation systems. *ISO: official website*. Available at: <https://www.iso.org/standard/76676.html> (accessed 26.06.2025). Access mode: after purchase.
6. GB/T 9711-2023. Petroleum and natural gas industries – Steel pipe for pipeline transportation systems. *GB China National Standards*. Available at: https://gbstandards.org/GB_standard_english.asp?code=GB/T%209711-2023 (accessed 26.06.2025). Access mode: after purchase.
7. API Spec 5L Line pipe, 46th edition (2018). *API: official website*. Available at: <https://www.apiwebstore.org/standards/5L> (accessed 26.06.2025). Access mode: after purchase.
8. *GOST 31447–2012*. Steel welded pipes for trunk gas pipelines, oil pipelines and oil products pipelines. Specifications. *Codex: Electronic fund of legal and regulatory documents*. (In Russ.) Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200103347> (accessed 26.06.2025).
9. *GOST R 56403–2015*. Trunk pipelines for oil and oil products transportation. Welded steel pipes. Specifications. *Codex: Electronic fund of legal and regulatory documents*. (In Russ.) Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200120579> (accessed 26.06.2025).
10. CSA Z245.1:22. Steel pipe. *CSA Group: official website*. Available at: <https://www.csagroup.org/store> (accessed 26.06.2025). Access mode: after purchase.
11. Nesterov G.V., Zadubrovskaya O.A. Pipes of strength class K65, K70 for the construction of trunk oil pipelines. In: *Collection of proceedings of the international conference “Production, testing and practical use of large diameter pipes of strength categories X80/X90”*. Moscow: Metallurgizdat, 2013. P. 74–76. (In Russ.)
12. Efron L.I. *Metallovedenie v “bol'shoy” metallurgii. Trubnye stali* [Metal science in “big” metallurgy. Pipe steels]. Moscow: Metallurgizdat, 2012. 696 p. (In Russ.)
13. Ilyinsky V.I., Golovin S.V., Tkachuk M.A. et al. [Development of technologies of thermomechanical controlled rolling on the rolling mill 5000 and their application in the implementation of pipeline projects with extreme parameters]. In: *Barykov A.M. (ed.). Development of technologies for the production of steel, rolled products and pipes at the Vyksa production site: collection of papers*. Moscow: Metallurgizdat, 2016. pp. 340–377. (In Russ.)
14. *V Rossii uspeshno ispytali vysokoprochnye truby OMK novogo pokoleniya* [In Russia, high-strength OMK pipes of a new type have been successfully tested]. *OMK JSC: official website*. (In Russ.) Available at: <https://omk.ru/press/news/51500/> (accessed 26.06.2024).
15. *Truby proizvodstva TMK TR dlya gazoprovodov vysokogo davleniya uspeshno proshli ispytaniya* [Pipes manufactured by TMK TR for high-pressure gas pipelines have been successfully tested]. *PJSC TMK: official website*. (In Russ.) Available at: https://chtpz.tmk-group.ru/chtpz_news/4513 (accessed 26.06.2024).
16. Cherepanov M. [The Forces of the Urals for the POWER of SIBERIA]. *Trassa Gazprom transgaz Ekaterinburg*. 2023;4(477):1, 4. (In Russ.)
17. Stepanov P.P., Golovin S.V., Samohvalov M.V. et al. Development of technology for production of large diameter pipe classes strength K70-K80 for pressure 14.7 MPa at Vyksunsky OMK plant. *Metallurg*. 2024;(11):12–22. (In Russ.) DOI: 10.52351/00260827_2024_11_12. EDN: FYDQPE.

18. Stepanov P.P., Muntin A.V., Efron L.I. et al. *Sovremennye tekhnologii proizvodstva ploskogo prokata iz nizkouglerodistykh mikrolegirovannykh staley* [Modern technologies for the production of flat rolled products from low-carbon microalloyed steels]. Moscow: Metallurgizdat, 2024. 456 p. (In Russ.)

19. Nesterov G.V. Comparison of technical requirements for large diameter pipes. *Pipeline transport (Theory and practice)*. 2023;3(85):8–13. (In Russ.) EDN: BGQCQZ.

Информация об авторах

Нестеров Григорий Валерьевич, канд. техн. наук, начальник управления технического сопровождения труб, соединительных деталей и металлоконструкций, ООО «Синарастройкомплект», Екатеринбург, Россия; grigoriy.nesterov@sinstc.ru.

Юшин Алексей Александрович, канд. техн. наук, технический директор по сварке, Daou (Shaoxing) Technology Co., Ltd, Шаосин, Китай; 9018134@mail.ru.

Ткачук Максим Александрович, руководитель направления по трубной продукции, АО «Газпром шельфпроект», Москва, Россия; mtkachuk87@gmail.com.

Information about the authors

Grigory V. Nesterov, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department of Technical Support of Pipes, Fittings and Metal Structures, LLS “Sinarstroykomplekt”, Ekaterinburg, Russia; grigoriy.nesterov@sinstc.ru.

Alexey A. Iushin, Cand. Sci. (Eng.), Welding Technical Director, Daou (Shaoxing) Technology Co., Ltd, Shaoxing, China; 9018134@mail.ru.

Maxim A. Tkachuk, Head of the Pipe Production Department, JSC “Gazprom Shelfproekt”, Moscow, Russia; mtkachuk87@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 11.11.2025

The article was submitted 11.11.2025