

ФЛАНЦЫ ИЗ СТАЛИ 09Г2С И 13ХФА: РАЗЛИЧИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ

Дмитрий Солин, менеджер по развитию производства компании «ОНИКС», Санкт-Петербург

Наиболее распространенными марками сталей для отрасли являются 09Г2С и 13ХФА, химический состав которых представлен в табл. 1.

Сталь 09Г2С: применение и свойства

Марка стали 09Г2С относится к классу низколегированных сталей. Относительно небольшое содержание углерода вместе с легированием марганцем и кремнием способствует сохранению высокого уровня механических свойств при отрицательных температурах. Пластинки цементита в составе перлита обладают низкой пластичностью и служат местами зарождения трещин [1]. При низких температурах границы «феррит-цементит» в перлите играют роль препятствий, у которых скапливаются дислокации при их скольжении. Снижение доли перлита в структуре оказывает положительное влияние на стойкость при отрицательных температурах. Марганец, в общем случае, повышает прочность и при этом не оказывает негативного влияния на пластичность стали, резко снижая ее красноточность. Также он измельчает зерно феррита, повышает пластичность, что приводит к понижению порога хладноломкости. Стали, содержащие в своем составе количество кремния выше технологической примеси (обычно не превышает 0,37%), при обработке на одинаковую твердость с нелегированными обладают несколько более высоким запасом вязкости, а при равной температуре отпуска превосходят нелегированную сталь по показателям прочности, уступая ей, однако, в вязкости [1]. За счет низкого содержания углерода и легирующих элементов, сталь сваривается без ограничений и широко применяется в сварочных конструкциях. Ее часто используют при эксплуатации в условиях низких температур (до -70 °С) и при высоких давлениях, а также, благодаря высокой пластичности, активно применяют при изготовлении деталей методом холодной штамповки.

Сталь 13ХФА: применение и свойства

В свою очередь, низколегированная сталь 13ХФА находит широкое применение в качестве материала для нефте- и газопроводных труб и в иных сферах химической промышленности. Наряду с высоким уровнем механических свойств и хладостойкостью, отличительной характеристикой 13ХФА является сопротивляемость образованию коррозии, особенно в присутствии H₂S [2]. Прежде всего это обусловлено наличием хрома, который за счет своего химического воздействия препятствует активному развитию данного процесса [3]. Комплексное легирование хромом и ванадием благотворно влияет на сопротивление разрушению

при минусовых температурах. Важно отметить, что малые добавки ванадия, высокоактивные по отношению к железу и примесям стали, оказывают комплексное воздействие на структуру и свойства стали благодаря сочетанию рафинирующего, модифицирующего и микролегирующего эффекта. В свою очередь, добавление хрома повышает способность стали к термическому упрочнению, усиливает стойкость к коррозии и окислению, обеспечивает повышение прочности при низких температурах. При легировании стали небольшим количеством ванадия образуются труднорастворимые в аустените карбиды, способствующие измельчению зерна. Это приводит к понижению порога хладноломкости и уменьшению чувствительности к концентраторам напряжений [4]. Сталь сваривается с ограничениями.

Сравнительный анализ сталей

В ряде случаев встает вопрос о возможности замены марок стали 13ХФА и 09Г2С друг на друга. В комплексном исследовании нефтегазопроводных труб, проведенном А. В. Иоффе с коллегами [5], представлены механические свойства сталей испытываемых труб (табл. 2).

Из таблицы видно, что сталь 13ХФА имеет значительно более высокое значение ударной вязкости при отрицательной температуре. Снижение значения относительного удлинения для 13ХФА в сравнении с 09Г2С можно объяснить повышением предела текучести и прочности для первой стали. В работе Лапикова С. О. [2] приводилось исследование возможности замены стали 09Г2С на 13ХФА в качестве материала запорной арматуры. Результаты механических испытаний приведены в табл. 3.

Полученные данные механических испытаний из таблицы выше представляют большой интерес для анализа. При практически одинаковых значениях предела прочности значение предела текучести для стали 09Г2С значительно ниже, чем для 13ХФА. Значение ударной вязкости при -60 °С при V-образном концентраторе для стали 13ХФА практически в два раза больше, чем для 09Г2С, а при U-образном концентраторе картина меняется на противоположную, хотя разница в значениях уже не столь велика. Стоит отметить, что в ряде исследований наблюдается ситуация, когда на общем высоком уровне значений относительного сужения в шейке и относительного удлинения, резко ниже ожидаемого находится значение ударной вязкости. Такие разрозненные значения не всегда находят объяснение даже после исследования микроструктуры. Значения ударной вязкости из табл. 3 представляют особый интерес для дополнительных исследований и анализа.

Таблица 1 – Химический состав

Марка, ГОСТ	Массовая доля элементов, %									
	C	Si	Mn	Cr	V	Ni	Al	P	S	Cu
09Г2С, ГОСТ 19281-2014	≤ 0,12	0,5–0,8	1,3–1,7	≤ 0,3	≤ 0,12	≤ 0,3	0,02–0,06	≤ 0,03	≤ 0,035	≤ 0,03
13ХФА, ГОСТ 4543-2016	0,11–0,17	0,17–0,37	0,4–0,65	0,5–0,7	0,04–0,09	≤ 0,3	0,02–0,06	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,03

Таблица 2 – Механические свойства [5]

Марка стали	Сортамент, мм	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа	Относительное удлинение δ_s , %	Ударная вязкость КСV-60°С, Дж/см ²
09Г2С	Ø159×8	340	460	32	81
13ХФА	Ø530×8	415	520	27,5	223

Таблица 3 – Механические свойства [2]

Марка стали	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ_s , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость	
					КСУ-60°C, Дж/см ²	КСУ-60°C, Дж/см ²
09Г2С	285	505	35,2	77,9	415	167
13ХФА	421	510	30,7	79,7	375	294

Применение фланцев из сталей 13ХФА и 09Г2С

Компания «ОНИКС», специализирующаяся на производстве стандартных фланцев согласно ГОСТ 33259-2015 и нестандартных – по индивидуальному чертежу, провела собственные исследования механических свойств двух одинаковых типов фланцев из марок стали 13ХФА и 09Г2С. Результаты представлены в табл. 4.

Для фланцев приварных встык ГОСТ 33259-2015 регламентирует использовать в качестве заготовки поковки с уровнем механических свойств не ниже КР245 по ГОСТ 8479-70. В табл. 4 также представлены минимально допустимые значения, на основании которых можно судить о достижении для исследуемых поволовок данной категории прочности. Как видно из указанных значений, обе марки в рамках данной работы удовлетворяют КР245. В качестве окончательной термообработки проводилась нормализация. Однако наблюдается существенная разница в значениях ударной вязкости между данными марками стали. На следующем этапе исследования будет полезным проверить значения ударной вязкости при отрицательных температурах, что особенно актуально при эксплуатации фланцев в условиях севера.

Как отмечалось ранее, сталь 13ХФА обладает достаточно высоким уровнем стойкости к образованию и развитию коррозии. А. В. Иоффе, в своей работе [5] проводивший исследования стойкости ряда марок стали к карбонатной коррозии, указывает на то, что традиционно используемые марки стали не пригодны для данных условий. Они образуют рыхлые продукты коррозии, имеющие слабую адгезию с металлом, не замедляют коррозионные процессы, что может привести к смене характера коррозии: с равномерной на локальную мейза-коррозию. Так, например, марганец за счет более высокой активности по сравнению с железом, негативно влияет на коррозионную стойкость, способствуя образованию окислов и сульфидов марганца. Подобные результаты также отмечает В. О. Кученев, проводивший анализ результатов стендовых испытаний, в том числе для марок 09Г2С и 13ХФА [6]. Он указывает на низкую сопротивляемость образованию коррозии для стали 09Г2С. Несмотря на невысокие значения общей скорости коррозии, Кученев подчеркивает язвенный характер коррозионных повреждений, который не позволяет рекомендовать данную сталь к использованию в коррозионно-агрессивных средах. Например, в воде с высоким содержанием ионов растворенных солей, растворенных агрессивных газов сероводорода и углекислого газа.

Важно отметить, что продукты углекислотной коррозии на сталях, микролегированных хромом, не приводят к пассивации поверхности стали в классическом смысле, однако обладают определенными защитными свойствами, защищая металл от проникновения к нему хлоридов [5]. В своей работе Е. А. Борисенкова и М. К. Ионов представили результаты лабораторных испытаний

Таблица 4 – Механические свойства, испытания фланцев

Марка стали (сравнение с ГОСТ)	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ_s , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²
КР245 ГОСТ 8479-70 (сечение до 100 мм)	≥ 245	≥ 470	≥ 22	≥ 48	≥ 49
09Г2С	305	475	37,5	79	245
13ХФА	263	472	32	71	164

образцов из стали 13ХФА в СО₂-содержащей модельной среде [7]. В ходе комплексного исследования морфологии и химического состава продуктов коррозии, а также замеров основных параметров модельной среды были выявлены основные этапы формирования защитного слоя продуктов коррозии на стали с 1% Cr. Кроме того, благодаря полученным результатам, описана стадийность углекислотной коррозии на стали с 1% хрома. Основным фактором формирования защитных свойств продуктов коррозии, по мнению авторов, является насыщение продуктов коррозии хромом. Процентное содержание хрома в продуктах коррозии увеличивается со временем за счет того, что образовавшаяся фаза Cr(OH)₃ не растворяется и остается в приповерхностном слое, а ионы железа Fe²⁺ продолжают выходить в раствор.

Вывод

На замену традиционно используемой марке стали 09Г2С, все чаще приходит 13ХФА. В общем случае 09Г2С при отрицательных температурах имеет выше значения по ударной вязкости, относительному удлинению и сужению в шейке. Трубопроводы из данной марки выдерживают высокие давления в условиях эксплуатации севера, а за счет своей неприхотливости при сварке она широко распространена на территории Российской Федерации. Трубы, изготовленные из 09Г2С, не всегда готовы к долговечной и безотказной службе. В случае транспортировки коррозионно-агрессивных сред часто развивается коррозия язвенного характера. В отдельных исследованиях отмечается значительно более низкая стойкость к водородному растрескиванию и сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением 09Г2С по сравнению с 13ХФА [2]. Сохранение хладостойкости, высокий уровень механических свойств при низких температурах и высокая сопротивляемость развитию коррозии позволяют в ряде случаев использовать сталь 13ХФА взамен 09Г2С. Благодаря увеличению срока службы трубопровода при использовании 13ХФА нивелируется разница в стоимости между данными марками стали.

Соответствие стандартов

Стандарт	Наименование
ГОСТ 19281-2014	Прокат повышенной прочности
ГОСТ 4543-2016	Металлопродукция из конструкционной легированной стали
ГОСТ 33259-2015	Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до PN 250
ГОСТ 8479-1970	Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали

Санкт-Петербург, сентябрь 2020 года

Список литературы:

1. Галимский А. И. Изучение возможностей термической обработки, как фактора повышения хладостойкости конструкционных низколегированных сталей // Ползуновский альманах. – 2014. – № 2. – С. 53–56.
2. Лапиков С. О. Повышение работоспособности и коррозионностойкости запорной арматуры нефтегазопроводов на основе использования стали 13ХФА // Магистерская диссертация, Тольяттинский государственный университет, 2016.
3. Иоффе А. В., Денисова Т. В., Тетюева Т. В. Коррозионно-механическое разрушение трубных сталей в процессе эксплуатации // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2012. – № 10. – С. 22–28.
4. Соловьев А. В. Технология производства труб из стали 13ХФА // ВКР Южно-Уральский государственный университет, 2018.
5. Иоффе А. В., Ревакин В. А. Особенности коррозионного разрушения нефтегазопроводных труб в условиях эксплуатации Коми и Западной Сибири // Вектор науки ТГУ. – 2010. – № 4(14). – С. 51–55.
6. Кученев В. О. Сравнительные коррозионные испытания сталей повышенной эксплуатационной надежности в РУП «Производственное объединение «БЕЛОРУСЬНЕФТЬ» // Материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2019 г.
7. Борисенкова Е. А., Ионов М. К. Механизм образования защитного слоя продуктов углекислотной коррозии на низколегированных сталях с 1% хрома // Вестник СамГТУ. – 2015. – № 3 (47). – С. 195–200.