

УДК 66.067.3

Д.В. СТАЛИНСКИЙ, д.т.н., профессор, генеральный директор,**А.С. РУДЮК**, к.т.н., заместитель генерального директора, **А.А. АЗАРКЕВИЧ**, к.т.н., заведующий лабораторией,**Л.А. ВАКУЛА**, к.т.н., заведующий лабораторией, **В.М. КРАСНОПОЛЬСКИЙ**, старший научный сотрудник

Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГАЗООЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Рассмотрен вопрос оптимального выбора материалов для изготовления отдельных узлов и элементов газоочистного оборудования с целью повышения его надежности. Определены основные требования к выбору материалов в соответствии с условиями эксплуатации.

конвертер, элементы газоочистного тракта, надежность, сталь, механические свойства, температура, коррозионная стойкость, окислительность, свариваемость

Особенностью металлургического производства являются тяжелые условия эксплуатации газоочистного оборудования. С этим связана необходимость применения оптимальных материалов, обеспечивающих повышенную эксплуатационную стойкость и надежность оборудования, а также их рационального использования при изготовлении различных узлов и элементов газоотводящих трактов.

Рассмотрим данную проблему на примере газоотводящего тракта конвертера с мокрой газоочисткой. В процессе движения по тракту пылегазового потока происходят изменения его температуры, давления, скорости, влажности, состава и содержания пыли. Характеристики пылегазового потока, определяющие условия работы элементов газоотводящего тракта, представлены в табл. 1.

Элементы газоочистного оборудования в процессе эксплуатации подвергаются коррозионному и абразивному воздействию пылегазового потока. Следует отметить, что пылегазовый поток характеризуется значительной

неоднородностью скорости и содержания пыли по сечению отдельных участков тракта, о чем свидетельствует как локальный абразивный износ отдельных элементов, так и наличие участков внутренней поверхности, где преимущественно происходит образование отложений.

Анализ условий эксплуатации отдельных элементов и узлов газоочистного оборудования позволяет определить требования, предъявляемые к материалам, из которых они изготавливаются.

Во всем диапазоне температур, при которых эксплуатируется оборудование, используемые материалы должны обладать таким уровнем механических свойств (предел текучести, временное сопротивление разрыву, относительное удлинение и ударная вязкость), который обеспечит надежную работоспособность всех элементов тракта.

Поскольку оборудование работает в агрессивной влажной среде и при повышенных температурах, материалы должны обладать достаточной жаропрочностью,

Таблица 1 – Условия работы элементов газоотводящего тракта конвертера

Название элемента	Температура, °С	Разрежение, кПа	Прочие условия
Сухой бункер под охладителем конвертерного газа	до 600	0,5	Изменение температуры от 50 °С до 600 °С (до 30 раз в сутки), при длительных простоях – до 25 °С
Газоход грязного газа между сухим бункером и газоочисткой	до 600	1,0	Изменение температуры от 20 °С до 600 °С (до 30 раз в сутки), при длительных простоях – до 25 °С. Скорость газа до 30 м/с, содержание пыли до 45 г/м³
Скруббер	до 85	1,5	Влажность – 100 %, наличие в газе до 50 мг/м³ SO ₂ и до 2 мг/м³ HF, содержание пыли до 45 г/м³
Труба Вентури	до 60	17	Влажность – 100 %, наличие в газе до 50 мг/м³ SO ₂ и до 2 мг/м³ HF, содержание пыли – до 12 г/м³. Скорость газа – до 200 м/с, удельное орошение газа – до 1,5 л/м³
Каплеотделитель и завихритель	до 60	17	Влажность – 100 %, наличие в газе до 50 мг/м³ SO ₂ и до 2 мг/м³ HF, содержание пыли – до 100 мг/м³. Скорость газа – до 60 м/с



окалино- и коррозионной стойкостью. Следует отметить, что, в соответствии с нормативными документами, элементы конвертерных газоочисток должны изготавливаться только из коррозионностойких сталей. Наличие высокоскоростного (до 200 м/с) пылегазового потока требует от отдельных узлов достаточной устойчивости против абразивного износа. Кроме того, поскольку все элементы тракта изготавливаются и собираются с помощью сварки, применяемые материалы должны хорошо свариваться, т.е. не требовать предварительного подогрева до сварки и термической обработки после нее.

Такой набор требований означает, что, исходя из конкретных условий эксплуатации, для каждого узла и элемента необходимо выбрать материал, обеспечивающий заданный срок эксплуатации и имеющий минимальную стоимость.

При выборе материалов для изготовления отдельных элементов оборудования мокрой газоочистки и газоотводящего тракта конвертера рассматривались марки стали, которые традиционно применяются для этих целей или могут быть рекомендованы к применению. Эти марки стали, их механические и служебные свойства приведены в табл. 2. Следует отметить, что механические свойства всех этих марок стали обеспечивали при комнатной температуре требуемую прочность конструкции при изготовлении всех деталей из листового проката толщиной 10 мм.

Все элементы тракта по условиям эксплуатации можно разбить на три группы.

В первую группу входят сухой бункер и газопровод грязного газа, которые эксплуатируются при температуре в пределах от +600 °С до -25 °С.

По минимальным фактическим значениям предела текучести при температуре 600 °С рассматриваемые марки стали располагаются в убывающем порядке в сле-

дующей последовательности: 20Х13, 12Х13, 08Х22Н6Т, 08Х13, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х14Г14Н4Т – при этом даже минимальные фактические значения предела текучести (120 Н/мм²) обеспечивают требуемую прочность конструкции.

По минимальным фактическим значениям временного сопротивления при температуре 600 °С рассматриваемые марки стали располагаются в убывающем порядке в следующей последовательности: 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 20Х13, 10Х14Г14Н4Т, 08Х22Н6Т, 12Х13 и 08Х13, при этом даже минимальные фактические значения временного сопротивления для стали марки 08Х13 (165 Н/мм²) обеспечивают требуемую прочность конструкции.

Рассматриваемые высоколегированные стали обладают достаточной окалиностойкостью при температурах до 600 °С. Например, для стали марки 08Х13 уменьшение толщины изделия составляет 0,02 мм/год при температуре 600 °С, а для стали марки 10Х14Г14Н4Т – 0,1 мм/год при температуре 700 °С. Следует отметить, что аустенитные хромоникелевые стали марок 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т и хромоникельмарганцевая сталь марки 10Х14Г14Н4Т обладают более высокой окалиностойкостью и коррозионной стойкостью, чем хромистые стали марок 08Х13, 12Х13, 20Х13.

Стали марок 08Х13, 12Х13, 20Х13, в отличие от стали марок 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х14Г14Н4Т, характеризуются отпускной хрупкостью при длительных выдержках в интервале температур 400–500 °С (ударная вязкость снижается приблизительно в 2 раза), однако даже в этом случае ее значения остаются на приемлемом уровне.

Следует учитывать, что у ферритных сталей коэффициент линейного расширения ниже, а коэффициент теплопроводности выше, чем у аустенитных. Так, для стали марки 08Х13 в интервале температур 20–600 °С

Таблица 2 – Механические и служебные свойства сталей

Параметр	Температура, °С	Марка стали							
		08Х13	12Х13	20Х13	08Х22Н6Т	08Х18Н10Т	12Х18Н10Т	10Х17Н23М2Т	10Х14Г14Н4Т
Временное сопротивление, Н/мм ²	20	422–600	470–600	500–660	590–600	509–550	530–550	509–540	700
	600	165–180	230–450	340–360	295–340	350–420	340–350		330
Предел текучести, Н/мм ²	20	294–420	340–420	372–450	349–350	206–220	236	196–240	300
	600	145–165	180–280	275–280	175–215	120–210	120–205		120
Ударная вязкость, Дж/см ²	20	100	90–108	80–	60	167–245	286	37–40	250
	600	245	186–225	150–220	–	353	196–200		380
Удлинение, %	20	20–23	20–21	16–20	18–20	35–45	38		35
	600	34–45	18–27	36–37	35–38	31–39	28		35
Окалиностойкость, °С		800	650–800	600–650	600	600–900	600	600–800	700
Коррозионная стойкость		Стойкая	Стойкая	Стойкая	Стойкая	Высокая	Высокая	Высокая	Стойкая
Отпускная хрупкость, °С		С	С	С	С	Н	Н	Н	Н
Свариваемость		О	О	Т	Б	Б	Б	Б	Б

Примечание. 1. Склонность к отпускной хрупкости: Н – не склонна; С – склонна. 2. Характеристика свариваемости: Б – свариваемая без ограничения; О – ограниченно свариваемая; Т – трудносвариваемая

средний коэффициент линейного расширения равен $12,3 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, а коэффициент теплопроводности – $0,26\text{--}0,28 \text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$, по сравнению с $18,6 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ и $0,15\text{--}0,25 \text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$ соответственно для стали марки 12X18H10T. Таким образом, применение ферритных сталей может способствовать повышению теплообмена и уменьшению изменения линейных размеров сварных конструкций при колебаниях температуры.

Рассмотренные марки стали по свариваемости и жаростойкости располагаются в убывающем порядке в следующей последовательности: 08X18H10T, 10X14Г14Н4Т, 12X18H10T, 08X13, 12X13, 20X13. Для изготовления сварных конструкций, работающих при температуре до 600°C , можно использовать только стали марок 08X18H10T, 12X18H10T, 10X14Г14Н4Т и 08X13, поскольку они не требуют обязательной термической обработки сварных соединений.

Таким образом, с учетом всех эксплуатационных характеристик, а также стоимости металла (табл. 3) для изготовления сухого бункера и газохода грязного газа рекомендуется использовать более дешевую сталь марки 08X13; возможно также использование стали марки 10X14Г14Н4Т – наиболее дешевой стали аустенитного класса.

Таблица 3 – Марки стали, рекомендованные для изготовления различных элементов газоотводящего тракта

Название элемента	Марка стали	Стоимость стали*, грн/т
Бункер и газоход грязного газа	08X13	20000
Скруббер, переходной газоход, каплеотделитель, бак-гидрозатвор, завихритель	08X13	20000
Труба Вентури	08X18H10T	42000
	12X18H10T	45000

* Листовой прокат толщиной 10 мм

Во вторую группу оборудования входят скруббер, переходной газоход, каплеотделитель, завихритель, а также баки-гидрозатворы. Эти элементы эксплуатируются в пылегазовой среде со 100 %-ной влажностью, содержащей также SO_2 и HF. При этом через скруббер со скоростью 6 м/с проходит пылегазовый поток, который содержит до 45 г/м^3 пыли, а через каплеотделитель и

завихритель – поток со скоростью 60 м/с и содержанием пыли до $0,1 \text{ г/м}^3$. Основными требованиями к материалу в данном случае являются коррозионная стойкость и свариваемость. Этим требованиям удовлетворяют все рассмотренные стали, кроме стали марок 12X13 и 20X13. С учетом опыта эксплуатации для изготовления этих элементов рекомендуется сталь марки 08X13, стойкая в слабоагрессивных средах и наиболее дешевая из всех рассмотренных сталей.

К третьей группе оборудования относится труба Вентури, через которую с высокой скоростью проходит влажный пылегазовый поток (пыли – до 12 г/м^3 , воды – до $1,5 \text{ л/м}^3$), оказывающий на ее внутреннюю поверхность значительно большее коррозионное и абразивное воздействие, чем на скруббер. Необходимо отметить, что наибольшее коррозионное воздействие оказывает именно вода.

Основными требованиями к материалу для труб Вентури являются высокая коррозионная стойкость и свариваемость, что требует применения сталей аустенитного или аустенито-ферритного класса. Для изготовления труб Вентури могут быть использованы стали марок 08X18H10T, 10X14Г14Н4Т, 12X18H10T, 10X17H23M2T и 08X22H6T, которые отвечают всем требованиям, но, с учетом стоимости и возможности приобретения металла, рекомендуются стали марок 08X18H10T и 12X18H10T.

Отдельные узлы труб Вентури подвергаются значительному абразивному воздействию, имеют относительно небольшие размеры, могут быть изготовлены без применения сварки или подвергаться предварительному подогреву перед сваркой и термической обработке после нее. Такие узлы – створки или защитные листы на створках – могут быть изготовлены из более прочной стали марок 12X13 и 20X13.

ВЫВОДЫ

Для изготовления элементов газоотводящего тракта мокрых конвертерных газоочисток рекомендованы стали аустенитного класса марок 08X18H10T и 12X18H10T для труб Вентури и стали ферритного класса марки 08X13 – для остальных элементов.

Поступила в редакцию 15.04.2010

Розглянуто питання оптимального вибору матеріалів для виготовлення окремих вузлів та елементів газоочисного обладнання з метою підвищення його надійності. Визначено основні вимоги до вибору матеріалів у відповідності з умовами експлуатації.

The question related to optimal choice of materials for manufacturing particular units and elements of gas cleaning equipment with the purpose of increasing its reliability is considered. Basic material requirements according to operation conditions are determined.