АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ОДНОСЛОЙНЫЕ СИЛИКАТНО-ЭМАЛЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

ГРАЧЕВ Юрий Витальевич
Заместитель начальника отдела эмалирования и сварки ООО «Завод Эмалированных Труб»

РЕЗНИЧЕНКО Евгений Иванович
Инженер отдела эмалирования и сварки ООО «Завод Эмалированных Труб»

Силикатно-эмалевые покрытия (СЭП), используемые для защиты внутренней поверхности стальных трубопроводов от коррозии, выдерживают температуру рабочей среды до 350°С, устойчивы к механическому воздействию, гидроабразивному износу и высокому содержанию газа в перекачиваемой жидкости. Их использование помогает предотвратить отложение солей и образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО).

Эти свойства СЭП достигаются благодаря специальной технологии горизонтального нанесения покрытия с помощью автоматического центробежного устройства, входному контролю всех сырьевых компонентов, используемых при производстве эмали, а также соблюдению требований к поверхности труб и позволяют использовать СЭП в осложненных условиях эксплуатации, где применение лакокрасочных материалов (ЛКМ) невозможно.

Главное требование к внутреннему защитному покрытию труб и соединительных деталей состоит в способности покрытия обеспечить отсутствие аварий нефтепромыслового трубопровода по причине коррозии в течение всего периода его эксплуатации, транспортировки, хранения и монтажа.

При выборе типа защитного покрытия необходимо учитывать следующие факторы, определяющие опасность коррозии внутренней поверхности труб и соединительных деталей нефтепромысловых трубопроводов: условия эксплуатации, состав транспортируемой среды, температуру и давление в системе, скорость и характер движения потока, наличие абразивных частиц в потоке жидкости, состав и свойства попутного нефтяного газа (ПНГ), наличие АСПО, проявление жизнедеятельности микроорганизмов.

Агрессивность среды и возможность применения того или иного защитного покрытия во многом зависят от температуры – переменной величины в процессе добычи, сбора и подготовки нефти. Средняя температура формирования нефтяных пластов обычно составляет 45-100°С. Воздействию наиболее высоких температур подвергаются бурильные и насосно-компрессорные трубы (НКТ), выкидные линии. Рабочая температура в трубопроводах колеблется от 30 до 105°С, а в отдельных случаях может достигать 250°С.

Защита большинства внутренних поверхностей трубопроводов сегодня осуществляется с помощью ЛКМ, которые с учетом их невысокой стоимости, большого разнообразия и технологичности нанесения способны решать большинство задач по защите от коррозии. Однако в осложненных условиях эксплуатации СЭП показывают лучшие результаты. Покрытия данного типа, в частности, рекомендуется использовать в условиях большого количества АСПО, высоких температур (более 120°С), при наличии абразивных частиц в транспортируемой жидкости, при транспортировке агрессивных сред и при высоком содержании газа в перекачиваемой жидкости.

СВОЙСТВА СЭП

Эмалирование представляет собой процесс термической адгезии силикатной эмали к поверхности металла. Для СЭП характерны высокие прочностные показатели на изгиб, кручение и механические воздействия (см. таблицу). При использовании СЭП наблюдается снижение интенсивности образования АСПО и солевых отложений.

СЭП обладают высокой устойчивостью к кислотной коррозии, в том числе к минеральным кислотам и сероводороду. Согласно справочным данным срок службы силикатно-эмалевого покрытия в средах с содержанием серной, соляной и азотной кислот до 20% составляет до 18 лет. В щелочных средах СЭП имеет меньший срок службы. Так, по тем же справочным данным срок службы СЭП в 20%-ном растворе NaOH достигает 2 лет.

Трубы с внутренним силикатно-эмалевым покрытием выдерживают постоянное воздействие температур рабочей среды до 350°С и кратковременные воздействия до 600°С. Также для СЭП характерна высокая стойкость к абразивным воздействиям: как показывают исследования, эмалевые покрытия, нанесенные индукционным методом, обладают высокой износостойкостью, в 4-7 раз превышающей износостойкость стали. Твердость СЭП достигает пяти единиц по шкале Мооса, а в отдельных случаях может доходить до семи единиц. Благодаря этому эмалевое покрытие успешно предохраняет стальные трубы от интенсивного гидроабразивного износа.

Однократное эмалирование стальных труб эквивалентно увеличению толщины стенок трубы на 7-8 мм. Кроме того, СЭП характеризуются ремонтопригодностью в условиях промысла, устойчивостью при пропаривании с последующей механической (скребковой) очисткой.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ФРИТТ

Основные объемы фритт для эмалирования труб и трубодеталей мы приобретаем на открытом рынке у российских производителей.

Сырьевые материалы, предназначенные для производства силикатных фритт, проходят жесткий входной контроль. Для изготовления основных марок фритт используется 10-15 основных сырьевых материалов и более 10 модифицирующих, каждый из которых подвергается проверке химического со-

става. В ходе этого анализа важно подтвердить отсутствие примесей в сырьевых компонентах, которые в дальнейшем могут отрицательно сказаться на свойствах СЭП.

Постоянство химического состава и свойств фритты достигаются благодаря автоматизации процесса дозирования компонентов. При необходимости материалы подвергаются магнитной сепарации, сушке, измельчению или просеву. На участке дозирования установлены бункеры с автоматическими весами, дозирование компонентов производится автоматически под компьютерным контролем в соответствии с заданной рецептурой, допустимая погрешность при взвешивании составляет 0,5%. Расчет шихты также производится с помощью специальной компьютерной программы.

После дозирования материалы засыпаются в перемешивающий барабан (смеситель), время смешивания компонентов составляет 40 мин, масса одной загрузки – до 1300 кг. После этого смешанные компоненты засыпаются в газовую плавильную печь периодического действия. Температура варки фритты в зависимости от ее марки составляет 1200-1400°С, время варки – 2-2,5 часа.

По окончании варки оператор берет пробу на качество провара (сплавления) фритты. О высоком качестве сплавления свидетельствуют тонкая и ровная, без узелков, нить расплава, ровная и равномерная по цвету «лепешка».

После этого фритта подвергается гранулированию: струя раскаленной фритты направляется в струю хо-

Таблица

Физико-механические свойства СЭП

Параметры	Значение
Плотность, г/см^3	2,3-2,6
Прочность на разрыв, не менее, МПа	100
Прочность при ударе, не менее, Дж	2,0
Сплошность при проверке искровым дефектоскопом постоянного тока, при напряжении 2 кВ на мм толщины покрытия	Отсутствуют пробои
Прочность сцепления СЭП с металлом (адгезия), по приложению 2 ГОСТ 24405-80 (испытания на образцах свидетелях), балл	4,0
Потеря массы покрытия после кипячения в растворе уксусной кислоты массовой долей 4% в течение 1 часа не должна превышать, мг/см	0,25
Образование матовых пятен после воздействия раствора 4%-ной уксусной кислоты при температуре (20±2) °С в течение (60±5) с	Не происходит
Потеря массы покрытия после кипячения в растворе лимонной кислоты массовой долей 6 % в течение 2,5 ч не должно превышать, г/м	10
Класс по ГОСТ 29021-91 после воздействия раствора лимонной кислоты концентрацией 100 г/дм^3 при температуре (20±2) °С в течение (15±0,5) мин	Не ниже А
Скорость коррозии покрытия после кипячения в воде в течение 48 ч не должна превышать, г/м^2·сут	0,5
Скорость коррозии покрытия после воздействия водяного пара в течение 48 ч не должна превышать, г/м^2·сут	1,3
Результат испытания на термическую стойкость. После двух циклов испытаний 20-100-20-320-20°С	Отсутствуют трещины и сколы
Результат испытания на тепловой удар. При разности температур нагрева и охлаждения не менее 220°С	Отсутствуют трещины и сколы

Рис. 1. Приготовление шликера

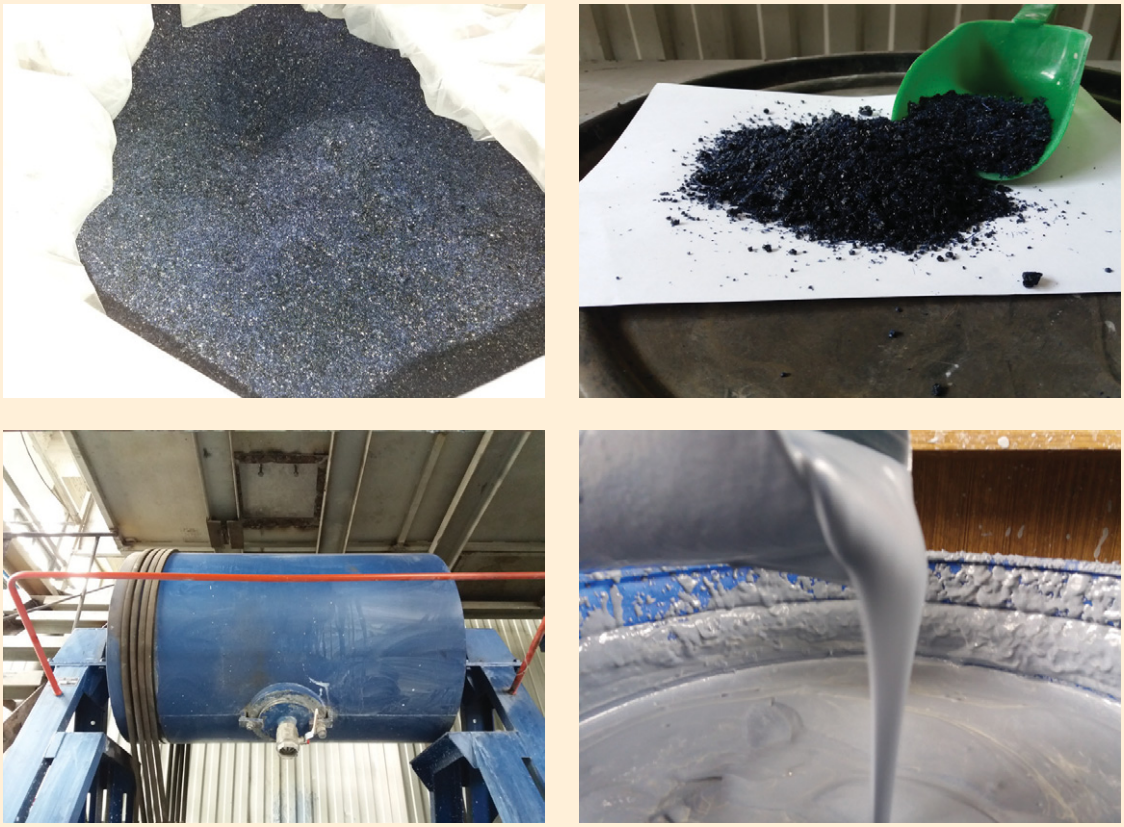
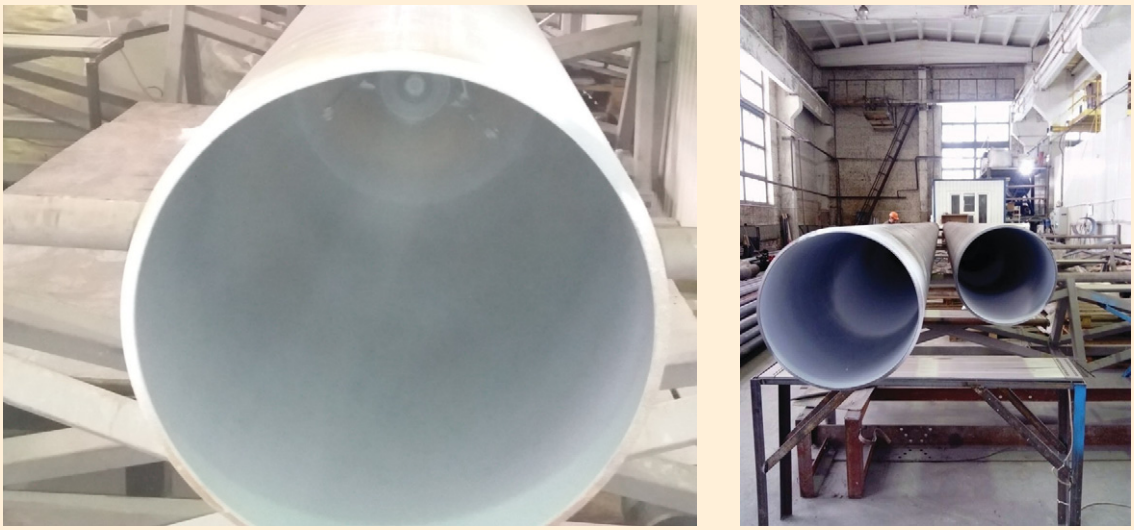


Рис. 2. Нанесение эмалевого шликера



лодной воды и проходит через сито с ячейками размером 10 мм. Готовые фритты просеиваются на грохоте, после чего сушатся при температуре 60-70°С, упаковываются в «биг-бэги» и в таком виде поступают на ООО «Завод эмалированных труб».

При необходимости мы на нашем производстве по требованию заказчика проводим модификацию фритт под конкретные условия применения.

Далее фритты используются для приготовления шликера: загружаются в перемешивающий барабан с последующей добавкой компонентов, отвечающих за температурный режим и вязкость шликера, а также дистиллированной воды (рис. 1).

НАНЕСЕНИЕ И ОБЖИГ СЭП

Эмаль, получающуюся после обжига труб, обычно наносят на внутреннюю поверхность трубы двумя способами: путем распыления фритты в электростатическом поле (сухой способ нанесения) и заполнения шликером вертикально стоящей трубы или пролива шликером вращающейся под наклоном трубы (мокрый способ нанесения). Нашими инженерами был разработан способ горизонтального нанесения с помощью автоматического центробежного устройства нанесения шликера (УЦНШ) и впервые реализована промышленная установка по эмалированию труб «горизонтальным шликерным способом» (рис. 2).

Рис. 3. Индукционный обжиг трубы 325*8

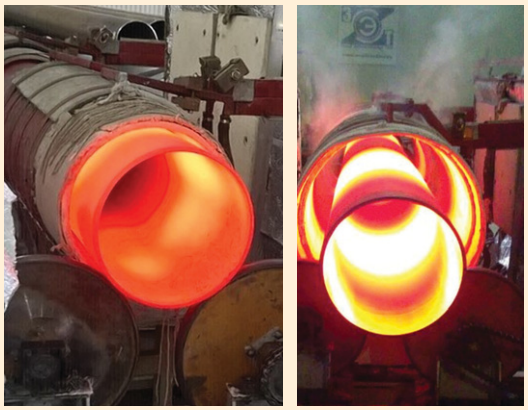
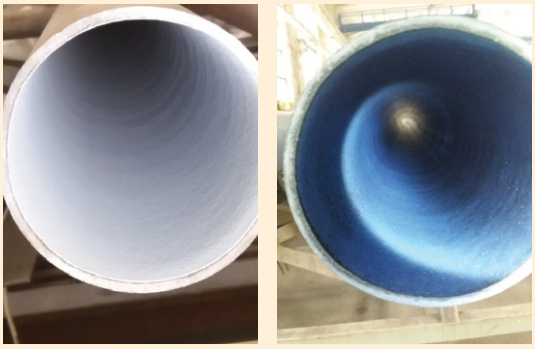


Рис. 4. Внешний вид СЭП после индукционного обжига



Сушка труб с нанесенным эмалевым шликером проводится при относительной влажности воздуха не более 60-70% и температуре не выше 120°С. Высушенный шликерный слой должен быть равномерным, без видимых утолщений в виде капель и засоров в виде комочков и т.п.

После сушки проводится индукционный обжиг эмали. Для эмалевого шликера, используемого на нашем производстве, оптимальный температурный интервал обжига составляет от 840 до 860°С. Обжиг проводится последовательно в двух индукторах: в первом труба подогревается до температуры не выше 700°С, во втором индукторе происходит окончательный обжиг. Наши индукционные установки позволяют проводить обжиг труб диаметром от 57 до 820 мм (рис. 3).

После остывания трубы СЭП приобретают темно-синий цвет (рис. 4). При этом цвет эмали может быть различным и зависит от ее состава, так, например, для антикоррозионных силикатных эмалей с высоким содержанием хрома характерен зеленый цвет.

Средняя толщина слоя шликера после сушки достигает 390 мкм, а после индукционного обжига – 260 мкм, то есть усадка покрытия в процессе обжига составляет примерно одну треть.

ТРЕБОВАНИЯ К ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ ПРИ НАНЕСЕНИИ СЭП

При выборе СЭП в качестве защитного покрытия следует учитывать, что нанесение СЭП предполагает более жесткие требования к поверхности труб по сравнению с ЛКМ. Так, степень очистки поверхности по ГОСТ Р ИСО 8501-1-2014 должна соответствовать Sa3; на поверхности трубы не должно быть масла, жира, ржавчины, окалины и пыли; не допускается закатанная окалина, заусенцы, расслоения и трещины, а также стесы и вдавы на внутренней поверхности труб глубиной более 0,1 мм. Также на поверхности труб не должно быть коррозионных повреждений, пор и раковин, закатов и плен, а на электросварных трубах внутренний грат обязательно должен быть удален по всей длине трубы.

При нанесении СЭП следует уделить внимание шероховатости поверхности: для силикатно-эмалевого покрытия поверхность должна быть развитой. Значения шероховатости для нанесения СЭП отли-

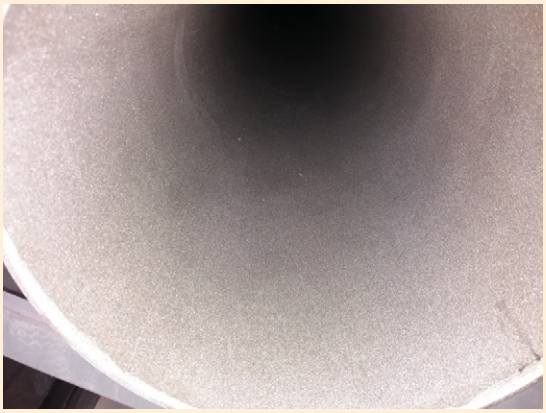
чаются от требуемых для нанесения ЛКМ. Если этот показатель не будет выдерживаться в необходимом диапазоне, нанесенный шликер не сможет «зацепиться» за поверхность трубы и будет сползать, создавая дефект «сборки» (рис. 5). В этом месте эмаль не высохнет, а в дальнейшем влага начнет выделяться и разорвет покрытие. Чтобы избежать этого, мы устраняем «сборки» путем зачистки, повторного нанесения шликера и последующей обработки переносным индуктором.

При входном контроле труб нередко выявляются дефекты – задиры тела трубы, раковины, отслоения и т.д. (рис. 6), а также дефекты, возникающие из-за некачественного проката труб (рис. 7), которые необходимо устранить до нанесения покрытия путем зачистки или обрезки (рис. 8), чтобы они не сказались на качестве покрытия. Но, по нашим наблюдениям, трубные компании с каждым годом все лучше следят за качеством труб, благодаря чему процент брака уменьшается.

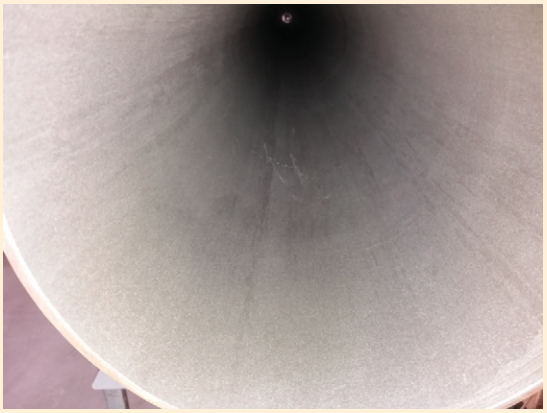
Чтобы дополнительно снизить процент дефектов, возникающих по причине неровностей трубы, перед нанесением СЭП мы проводим черновой обжиг труб. Этот процесс осуществляется в одном индукторе при температуре 360-400°С.

Отвечая за качество конечного изделия - эмалированного трубопровода, мы предлагаем нашим потребителям обучение сварщиков и варианты защиты СЭП в области сварного шва. Для этого мы предлагаем использовать подкладные стальные кольца, покрытые эмалью и нанесение перед сваркой монтажного шликера. При сварке шва шликер равномерно распределяется по околошовной зоне, обеспечивая высокое качество защиты зоны сварного шва. При этом важно учитывать комлексность поставки: для правильной работы данного способа необходимо подбирать под-

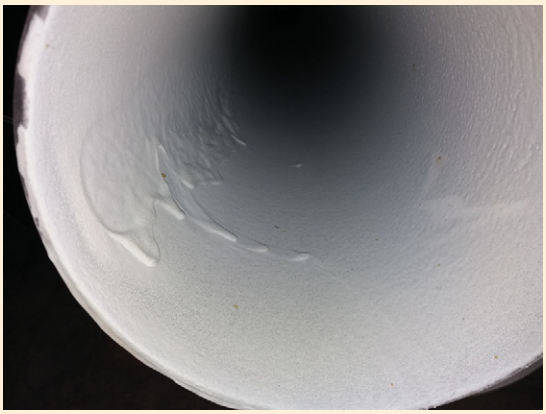
Рис. 5. Дефект «сборка», возникающий при недостаточной шероховатости поверхности трубы



Шероховатость хорошая



Шероховатость плохая



Дефект «сборка», возникающий из-за плохой шероховатости

Рис. 6. Дефекты труб, выявленные при входном контроле

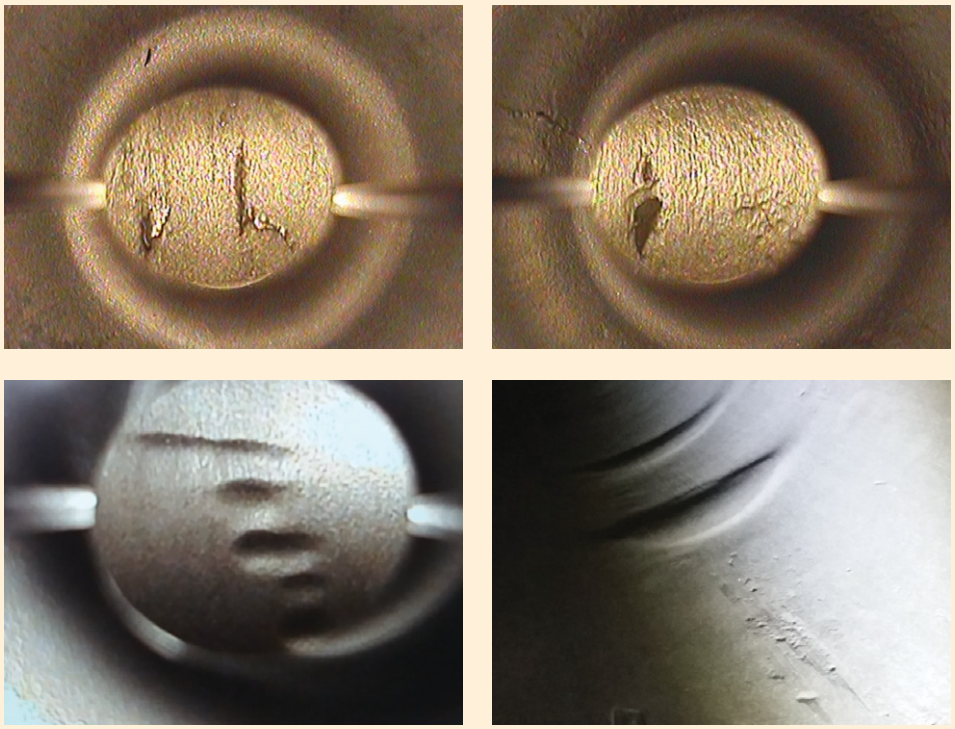


Рис. 7. Дефекты, возникающие из-за некачественного проката труб

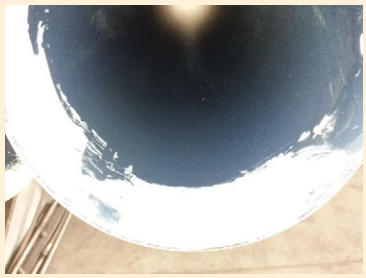
Рис. 8. Устранение дефектов труб

До зачистки

Зачистка

После зачистки

Дефект покрытия


Ремонт трубы с СЭП после зачистки

Обжиг переносным индуктором

кладные кольца и монтажный шликер в соответствии с маркой и назначением эмали трубопровода.

Также в целях улучшения качества СЭП ООО «Завод эмалированных труб» тесно сотрудничает с научно-исследовательскими институтами и поставщиками сырья для производства высококачественных силикатных эмалей. Мы имеем возможность подобрать рецептуру эмали и изготовить покрытие, которое будет оптимально соответствовать тем или иным условиям эксплуатации трубопроводов.

ВЫДЕРЖКИ ИЗ ОБСУЖДЕНИЯ

Вопрос: *Евгений Иванович, сколько времени занимает процесс индукционного обжига эмали?*
Евгений Резниченко: Длительность индукционного обжига зависит от скорости прохождения трубы через индукторы, а она, в свою очередь, определяется диаметром и толщиной стенки трубы. Если труба диаметром 73 мм и толщиной стенки 5,5 мм проходит через индукторы за 5-7 мин, то труба диаметром 325 мм с толщиной стенки 7 мм – за 20-25 мин.

Вопрос: *Как бы Вы определили основной фактор брака СЭП, выявляемый в ходе выходного контроля труб?*
Е.Р.: Безусловно, это человеческий фактор, поскольку покрытие наносят люди (этот процесс не автоматизирован)
Вопрос: *Ранжируете ли вы бракованные по этой причине изделия?*
Е.Р.: Конечно, ранжируем и проводим детальный анализ причин.
Юрий Грачев: К настоящему времени на производстве проведены НИОКР по максимальной автоматизации всего процесса эмалирования, начиная от приготовления шликера, заканчивая обжигом труб с целью минимизации влияния человеческого фактора.

Вопрос: *Насколько повышается цена труб после нанесения СЭП?*
Е.Р.: Стоимость линейной трубы увеличивается примерно в 2-2,5 раза, НКТ – втрое по сравнению с черной трубой. Конечно, это приблизительные цифры, более точно стоимость рассчитывается индивидуально в случае конкретного заказа.

Вопрос: *Оправдано ли такое существенное удорожание труб?*
Реплика: Да, если речь идет об осложненных условиях эксплуатации. К примеру, у одной из нефтяных компаний, работающих в Тимано-Печоре, 85% используемых сегодня НКТ – это НКТ с СЭП. С учетом отказа от применения химреагентов и снижения количества процедур скребкования применение СЭП экономически оправдано.
В ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» и ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» в самых агрессивных средах с температурой среды выше 110-120°С эффективно работает только СЭП, других вариантов нет.
Еще один пример – применение СЭП в трубопроводах для утилизации вод с характерной для них высокой скоростью потока в ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз».

Вопрос: *Вы отметили, что трубы с СЭП характеризуются ремонтопригодностью в условиях промысла. Не могли бы Вы уточнить, как производится такой ремонт?*
Е.Р.: Сначала мы делаем локальную зачистку дефекта трубы, затем наносим на место дефекта шликер, после высыхания шликера производим обжиг с помощью переносного гибкого индуктора.