

*Е. Проскуркин Государственный трубный институт им Я.Е. Осады, Украина*

# ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

КАЧЕСТВО И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТРУБ

*Коррозия металлов наносит огромный материальный ущерб и вследствие разрушения оборудования и происходящих аварий значительно ухудшает экологическую обстановку на производстве. Статистические данные показывают, что ежегодные потери металла от коррозии составляют более 14 млн т, причем только около двух третей прокорродировавшего металла удается использовать повторно в качестве металлолома.*

*Трубы относятся к металлопродукции, интенсивно подвергающейся различным видам коррозии: почвенной, атмосферной, морской, высокотемпературной и др. Опыт подтверждает, что более 50% трубопроводов, по которым транспортируют агрессив-*

*ные среды, имеет срок службы от 1 месяца до 2 лет. За последние десятилетия отмечено уменьшение срока службы труб практически во всех сферах их применения, обусловленное, с одной стороны, резким снижением коррозионной стойкости металла, а с другой — повышением коррозионной активности сред, в которых трубы эксплуатируются.*

*Одним из путей решения этой проблемы является использование труб с защитными покрытиями, что позволяет значительно увеличить эксплуатационную надежность и срок службы трубопроводов, снизить потери металла от коррозии, улучшить экологическую обстановку на производстве и в прилегающих регионах.*

## ТРУБЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Проблема защиты от коррозии трубопроводов систем водоснабжения в настоящее время стоит особенно остро и требует незамедлительного решения. Приток населения в города и соответствующий рост мегаполисов вызвали необходимость в строительстве высотных зданий. При этом резко увеличивается протяженность трубопроводов водоснабжения (холодного и горячего).

Применяемые для систем водоснабжения трубы из углеродистых марок стали имеют крайне малый срок службы (от нескольких месяцев до 4 лет — внутриквартальные сети и до 1 года — внутридомовая разводка) вследствие усиленной коррозии. Следовательно, использование в современном строительстве труб из углеродистых сталей со средним сроком службы 2–3 года является нерациональным.

В процессе эксплуатации трубопроводы, особенно систем горячего водоснабжения, подвергаются довольно интенсивной коррозии по внутренней поверхности, в результате чего стенки труб утончаются, а на отдельных их участках образуются сквозные отверстия (свищи). В конечном итоге системы водоснабжения загрязняются продуктами коррозии, ухудшается качество воды, происходит порча зданий во время аварий. Нарушается подача воды отдельным домам и целым жилым кварталам, требуются большие материальные затраты для ремонта систем водоснабжения и замены вышедших из строя труб.

Таким образом, необходимость повышения срока службы трубопроводов в системах водоснабжения очевидна.

Применение в широких масштабах труб из цветных металлов, нержавеющей стали, специальных сплавов экономически невыгодно, и их обычно используют для особых целей. Трубы из неметаллических материалов (пластиковые и др.) также имеют ряд существенных свойств, препятствующих их масштабному применению или ограничивающих его (высокая стоимость, ста-

рение во времени, подверженность различным механическим повреждениям, сложности при монтаже, различные трудности с организацией производства соединительных элементов и др.).

В связи с изложенным выше интерес представляют производство и использование труб из углеродистых сталей с защитными покрытиями.

Среди многочисленных защитных покрытий (металлических и неметаллических) цинковые покрытия являются одними из наиболее эффективных и распространенных.

Цинк обеспечивает экономичную и экологичную защиту стали от коррозии. Известно, что цинк подвергается вторичной переработке, и в настоящее время таким образом удовлетворяется около 30% мирового потребления этого металла. Другими словами, ежегодно 2 млн т цинка восстанавливается и используется снова.

В отличие от полимерных цинковые покрытия не только увеличивают срок службы труб, но и гарантируют их безопасность для здоровья человека, а также возможность вторичной переработки.

### Горячеоцинкованные трубы

Для защиты от коррозии труб из углеродистых сталей активно применяются цинковые покрытия, наносимые в расплаве способом горячего цинкования. В табл. 1 представлена ориентировочная отраслевая структура потребления горячеоцинкованных водогазопроводных труб по направлениям использования.

Широкое применение горячеоцинкованных труб для систем водоснабжения основано на способности цинка образовывать в водных средах защитные слои, которые замедляют протекание коррозионных процессов как на поверхности оцинкованных труб, так и в самих покровных слоях. Поэтому коррозия оцинкованных труб во времени имеет затухающий характер, так как образующиеся защитные слои препятствуют растворению цинка.

За многие десятилетия использования стальные оцинкованные трубы хорошо исследованы, их производство постоянно совершенствуется. Изучены условия эксплуатации и причины преждевременного разрушения покрытия на горячеоцинкованных трубах, разработаны соответствующие рекомендации по их производству и правильному использованию.

Таким образом, горячеоцинкованные трубы — это широко распространенный в мире вид продукции. Необходимо отметить, что в СССР, а затем в России и на Украине наибольшую долю труб общего назначения с защитными покрытиями составляли и составляют горячеоцинкованные водогазопроводные трубы. Спрос на них постоянно увеличивается, особенно в строительной индустрии, машиностроении, сельском хозяйстве, судостроении и др.

Оцинкованные трубы — это особый вид продукции, они должны иметь плотное, сплошное, прочно сцепленное с основой покрытие на внутренней и наружной поверхности. В цинковом покрытии недопустимы непокрытые участки, также не допускается наличие неметаллических включений, например золы, шлака и др. Внутренняя поверхность оцинкованных труб должна быть гладкой, а покрытие иметь равномерную толщину по длине и периметру трубы.

С одной стороны, оцинкованные трубы имеют относительно постоянный спрос, что облегчает их сбыт, но, с другой стороны, потребитель постоянно ужесточает требования к приобретаемой продукции и хочет, чтобы оцинкованные трубы не только были качественными и имели хороший товарный вид, но и чтобы их качество было гарантированным. Потребитель хочет знать, что полученная им качественная продукция не случайная, а является результатом плановой, организованной системы и программы по качеству данного предприятия.

В условиях рыночной экономики перед производителями оцинкованных труб

Таблица 1. Отраслевая структура потребления горячеоцинкованных вгп труб по направлениям использования

Отрасль	Направление использования	Потребление, %
Энергетика	Ремонт водопроводов	3,6
Угольная	Водопроводы шахт и углепотребляющих комплексов	1,8
Водное хозяйство	Водопроводы	1,2
Машиностроение		33,9
Капитальное строительство		53,4
В том числе		
Жилищно-гражданское и коммунальное	Внутренние системы холодного питьевого водоснабжения	6,1
	Внутренние системы горячего водоснабжения	0,6
	Наружные сети холодного водоснабжения	1,2
Промышленное	Внутренние системы холодного водоснабжения	20,7
	Внутренние системы горячего водоснабжения	1,2
	Внутриплощадочные системы:	
	холодного водоснабжения	2,4
	горячего водоснабжения	0,6
С/х производственное	С/х водоснабжение холодной водой	20,6
Прочие отрасли	Прочие нужды	6,1

вопрос качества (коррозионной стойкости покрытия, его равномерности, внешнего вида и др.) стоит особенно остро.

В связи с этим следует рассмотреть требования ГОСТа 3262–75 «Трубы стальные водогазопроводные» к толщине слоя цинкового покрытия во взаимосвязи с возможностями предприятий СНГ, производящих горячеоцинкованные трубы. В соответствии с ГОСТ-Том 3262–75 оцинкованные трубы должны иметь сплошное цинковое покрытие толщиной не менее 30 мкм по всей наружной и внутренней поверхности. В действительности на горячеоцинкованных трубах ряда заводов СНГ толщина цинкового покрытия превышает 30 мкм и может составлять 60–80 мкм и более, что обусловлено техническими возможностями оборудования этих заводов. То есть горячеоцинкованные трубы заводов СНГ, как правило, превышают нормы европейского стандарта EN 10240 «Внутренние и/или наружные защитные покрытия для стальных труб. Стандарт на горячеоцинковые покрытия, нанесенные на

автоматизированных установках» по толщине покрытия (табл. 2). Следовательно, заводы России и Украины (здесь сосредоточены основные производства оцинкованных труб в СНГ), производящие горячеоцинкованные трубы, несут большие экономические потери, прежде всего из-за перерасхода цинка. Говоря о расходе цинка, следует отметить, что снижение толщины слоя покрытия всего на 1 мкм на 1 м<sup>2</sup> поверхности позволяет экономить 7,14 г цинка. Если принять, что площадь поверхности 1 т труб диаметром 25 мм и длиной 7 м составляет 100,9 м<sup>2</sup>, то снижение толщины покрытия даже на 1 мкм (при этом необходимо выдерживать требования стандарта по толщине покрытия) позволит достичь значительной экономии цинка при больших объемах производства горячеоцинкованных труб.

Кроме того, физико-механические свойства оцинкованных труб с толстым слоем покрытия изменяются, и при различных механических операциях (гибка, вальцовка и др.), производимых с

такими трубами, покрытие скалывается с их поверхности в виде отдельных чешуек и пыли, что снижает срок службы труб и ухудшает санитарно-гигиенические условия в рабочей зоне.

Необходимо отметить, что ГОСТ 3262–75 в части требований к качеству цинкового покрытия не соответствует нормам, принятым в настоящее время рядом европейских стран, что снижает конкурентоспособность производимых в странах СНГ горячеоцинкованных труб.

### Диффузионно-оцинкованные трубы

Другим способом цинкования различных стальных изделий является нанесение цинковых покрытий из порошковых цинксодержащих смесей. Этот способ в 1970-е годы нашел применение на трубных и металлургических заводах СССР, на которых в течение десятилетий работали участки (цехи) диффузионного цинкования труб. На Никопольском южнотрубном заводе (Украина, г.Никополь) цинковали трубы диамет-

### Трубы из полимерных материалов

В мировой практике взамен стальных труб широко используются трубы из полимерных материалов.

Изготовление пластмассовых труб в существенном объеме началось в конце 1950-х – начале 1960-х годов, когда появились соответствующие технологические процессы производства пластических масс. В наибольших объемах в мире выпускаются такие полимерные материалы, как поливинилхлорид (ПВХ) и полиэтилен (ПЭ). Значительный рост достигнут также в производстве полипропилена (ПП). Эта группа термопластов находит массовое применение в различных областях техники, строительстве, медицине, быту. Примерно 60–65% всей продукции приходится на изготовление пластмассовых труб для холодного питьевого и промышленного водоснабжения, горячего водоснабжения, дренажных, канализационных систем, транспортировки агрессивных сред, а также

Таблица 4. Области применения труб из отдельных видов пластмасс

Область применения	ПВХ		ПЭ		Стеклопластики							
	непластифицированный	хлорированный	высокой плотности	низкой плотности	сшитый	Полипропилен	Сополимеры пропилена	АБС-сополимеры	полиэфирные	эпоксидные	Поливинилэфир, армированный стекловолокном	Полибутен
Канализация	+	–	+	–	–	+	–	+	–	–	–	–
Водостоки	+	–	+	–	–	+	–	–	+	–	–	–
Газопроводы	+	–	+	+	–	–	–	–	+	–	–	–
Трубы:												
для питьевой воды	+	–	+	+	+	–	–	+	–	–	–	–
для горячей воды	–	–	+	–	+	+	+	–	–	–	–	+
для отопления нагретым полом	–	–	+	–	+	–	+	–	–	–	–	–
прочие для обогрева	–	–	+	–	+	–	+	–	–	–	–	–
дренажные	+	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
для подземного водостока	+	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
защитные для проводов	+	–	+	+	–	+	–	–	–	–	–	–

Примечание. Знаками «+» и «–» обозначены соответственно применимость и неприменимость данного материала.

Таблица 2. Требования к покрытиям разных классов, полученным горячим цинкованием, согласно стандарту EN 10240

Группа качества	Параметры		Класс		
			A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
A	Обязательные	Минимальная локальная толщина покрытия на внутренней поверхности труб за исключением сварного шва Минимальная локальная толщина покрытия на внутренней поверхности труб на сварном шве Химический состав покрытия	55 мкм  28 мкм Указывается	55 мкм – –	45 мкм – –
	Выборочные (по требованию заказчика)	Минимальная локальная толщина покрытия на наружной поверхности труб Химический состав покрытия	Указывается –	Указывается То же	Указывается То же
B	Обязательные	Минимальная локальная толщина покрытия на наружной поверхности труб	<b>B<sub>1</sub></b> 55 мкм	<b>B<sub>2</sub></b> 40 мкм	<b>B<sub>3</sub></b> 25 мкм

ром 20–273 мм длиной 7000 мм. На Руставском металлургическом заводе (Грузия, г. Рустави) цинковали трубы диаметром 100–529 мм длиной 12500 мм, которые использовались на нефтепромыслах Каспийского моря («Нефтяные камни», Азербайджан). Диффузионно-оцинкованные трубы, производившиеся на этих заводах, применялись не только в нефтедобывающей, но и в нефтеперерабатывающей и химической промышленности, судостроении и морском флоте и др.

Диффузионное цинкование в порошковых смесях является довольно сложным физико-химическим процессом, происходящим при относительно невысокой температуре (450–500 °С).

В процессе диффузионного цинкования в результате взаимной диффузии атомов цинка из цинксодержащей смеси и атомов железа из стальной подложки покрываемого изделия на поверхности изделия образуется покрытие, представляющее собой железоцинковый сплав переменной концентрации.

Химический состав по толщине слоя диффузионного цинкового покрытия

(ДЦП) на водогазопроводных трубах представлен в табл. 3.

Классический процесс диффузионного цинкования труб в порошковых смесях обычно включает в себя следующие технологические операции: подготовку труб, упаковку их в контейнеры-муфели, засыпку диффузионной смесью, химико-термическую обработку, выгрузку из печи, распаковку муфелей и извлечение оцинкованных труб, очистку и контроль качества оцинкованных труб.

В последнее время рядом фирм и организаций Украины и России разработаны технологии и оборудование для диффузионного цинкования труб, в том числе и нефтяного сортамента, позволяющие значительно интенсифицировать и в определенной мере упростить процесс.

Прежде всего, поскольку основным недостатком классической технологии диффузионного цинкования является длительность химико-термической обработки, в новых технологиях были использованы муфели, которые при проведении диффузионного цинкования совершали вращательное или вращательно-посту-

пательное движение. Это позволило значительно сократить время процесса цинкования и улучшить его технико-экономические показатели. Кроме того, в новых технологиях использовали диффузионную смесь с различными активаторами или цинковый порошок подвергали специальной обработке, что также интенсифицировало процесс.

Некоторые новые технологии не предусматривают проведение операций подготовки поверхности труб (обезжиривание и травление), в других предусмотрена механическая обработка поверхности труб (дробеструйная обработка) перед цинкованием.

Таким образом, при организации новых или реконструкции действующих производств цинкования труб должны быть использованы технологии и оборудование, которые бы обеспечивали получение качественных, хорошего внешнего вида оцинкованных труб и снижение расхода цинка.

С учетом изложенного выше становится очевидным, что при создании новых мощностей для цинкования труб с современным автоматизированным обо-

защитных труб для кабелей. Непластифицированный суспензионный ПВХ, применяемый для изготовления труб (точнее, композиция на его основе), в СССР получил название винипласт.

Материалом, наиболее пригодным для труб, транспортирующих горячую воду, является хлорированный ПВХ (ПВХ-Х). Вследствие хлорирования точка его размягчения, равная в среднем 90 °С, повышается до 120 °С. ПВХ-Х имеет высокую прочность на разрыв, его коэффициент линейного расширения вдвое меньше, чем у ПП. ПВХ-Х – единственный самогасящийся материал, применяемый для труб горячего водоснабжения. Трубы из ПВХ-Х выпускают диаметром до 315 мм и применяют в следующих случаях:

- в сточных водопроводах (благодаря высокой термостойкости стенки труб могут быть тонкими);
- в центральном отоплении (при средней температурной нагрузке 80 °С можно в основу расчета труб принять значение  $\sigma_{0,2} = 15 \text{ кг/см}^2$ , что соответствует коэффициенту запаса прочности больше 2; благодаря этому выдерживаются кратковременные пиковые температуры в 100 °С);

■ в химической промышленности (трубы отличаются термостойкостью, а также стойкостью по отношению к водным растворам хлора, хлората и хлорита).

Соединительные части (муфты, втулки, фитинги, патрубки и т.п.), а также фасонную арматуру (вентили, водоразборные краны и т.п.) изготавливают, как правило, из тех же полимеров, которые используются для трубопроводов, с применением методов литья под давлением, штампования, склеивания, сварки и механической обработки заготовок.

Подавляющее большинство пластмассовых трубопроводов производят методом непрерывной экструзии на одношнековом или двухшнековом оборудовании. В настоящее время доля, приходящаяся в строительстве трубопроводов на пластмассы, составляет в индустриально развитых странах более 60%.

Наиболее значительными преимуществами труб из полимерных материалов являются:

- технологичность и низкие энергозатраты при изготовлении;

■ небольшой вес, что снижает расходы на транспорт и облегчает монтаж и укладку;

■ продолжительный срок службы (высокая химическая стойкость в большинстве агрессивных сред);

■ высокая эффективность применения.

К основным недостаткам полимерных труб следует отнести:

■ значительно меньшую, чем у стальных труб, прочность (в связи с этим полимерные трубы применяют при низких давлениях: трубы из ПЭ до 1,0 МПа, трубы из жесткого ПВХ до 1,6 МПа);

■ недостаточную сопротивляемость внутренним и внешним нагрузкам, так как модуль эластичности ниже, чем у металлических труб (данный недостаток можно компенсировать увеличением толщины стенки);

■ низкий температурный диапазон использования: для труб из ПЭ до 70 °С, а для труб из ПВХ до 60 °С. Трубы из ПП выдерживают тепловые нагрузки до 120 °С. Необходимо отметить, что с ростом температуры падает прочность материала полимерной трубы;

Таблица 3. Химический состав по толщине слоя ДЦП на вгп трубах из стали Эпс

Диаметр трубы	Файл, №	Содержание элемента в отн. %		Примечания		
		Fe	Zn			
Ду 15, толщина покрытия 90 мкм	15	19,2	78,6	Край покрытия		
	16	22,4	76,3			
	17	27,8	70,8			
	18	29,4	69,2			
	19	31,0	67,5			
	20	47,2	51,5		Граница покрытия	
	21	96,9	1,7			
	22	97,6	1,0			
	23	98,6	1,0			
	Ду 40, толщина покрытия 80 мкм	24	98,1		0,4	Твердый раствор цинка в железе (α-фаза)
25		98,2	0,4			
26		98,7	0,0			
27		26,4	72,3	Металл трубы		
28		28,7	69,8			
29		27,8	67,4			
30		33,1	65,4			
31	39,0	59,6	Граница покрытия			
32	97,6	0,7				
33	97,9	0,4				
Ду 25, толщина покрытия 75 мкм	34	98,4	0,2	α-фаза		
	35	98,3	0,0			
	36	21,4	75,3		Металл трубы	
	37	23,7	74,6			
	38	25,6	73,2			
	39	29,4	69,2			
	40	42,4	56,3			Граница покрытия
	41	98,1	0,4			
42	98,2	0,3				
43	98,7	0,0	Металл трубы			

Примечание. Измерения проводились с интервалом 15 мкм.

рудованием улучшается не только качество оцинкованных труб и их конкурентоспособность на рынке, но и технико-экономические показатели производства.

Для получения качественных конкурентоспособных оцинкованных труб необходимо строго выполнять следующие основные требования:

- осуществлять входной контроль труб (марка стали, состояние поверхности);

- осуществлять контроль состава и качества цинка для приготовления расплава (при горячем цинковании) или порошковой смеси (при диффузионном цинковании);

- выдерживать режим цинкования (температура, продолжительность);

- выполнять правила хранения и транспортировки оцинкованных труб.

- старение материала полимерных труб, что снижает их прочность и требует понижения эксплуатационного давления;

- повышенную хрупкость труб из ПВХ.

До 80% всех пластмассовых трубопроводов изготавливают из жесткого ПВХ. Следующий по масштабам применения материал — это ПЭ низкого давления (ПЭНД). Соотношение этих материалов по использованию для изготовления труб на мировом рынке составляет 4:1. Стоимость труб из жесткого ПЭ примерно на 75–80% выше стоимости труб из ПВХ. Однако использование труб из ПЭНД во многих случаях выгодно, а именно тогда, когда особое значение имеют высокая упругость и ударная прочность при пониженных температурах.

Полипропилен (ПП) обладает более высокой прочностью и жесткостью по сравнению с ПЭНД, а главное, большей термостойкостью и стойкостью к действию агрессивных сред, повышенной твердостью и лучшей износостойкостью. Однако ПП приобретает хрупкость при пониженных температурах (температура стеклования ПП –10 °С). Особенно высока стойкость ПП по отношению к растворам моющих средств при температурах до 100 °С даже при механической нагрузке. Благодаря своим свойствам ПП все чаще используется для изготовления сточных труб, особенно санитарно-технического оборудования зданий (горячие стоки от стиральных машин и посудомоечных автоматов).

Кроме перечисленных полимеров для изготовления труб используют: полистирол (ПС), полибутен (ПБ), АБС-пластик, фторопласт, сшитый полиэтилен, хлорированный поливинилхлорид (ПВХ-Х), стеклопластики. Из этой группы материалов в трубопроводах холодного и горячего водоснабжения применяют ПБ, АБС, сшитый полиэтилен, ПВХ-Х.

Крупнейшими потребителями труб из пластмасс являются мелиорация, водное хозяйство, гражданское промышленное, сельское строительство, газовая, нефтяная и химическая промышленность. Пластмассовые трубы целесообразно использовать в коммуникациях подачи воды и при прокладке электропроводки (табл. 4).

В настоящее время большое значение приобрела технология ремонта старых трубопроводов — релайнинг, то есть прокладка новых пластмассовых трубопроводов внутри старых, что значительно снижает стоимость ремонта.

Практический интерес представляет информация о потребительских и эксплуатационных свойствах, а также экономических показателях различных видов труб. Такие данные могут быть положены в основу оценки уровня качества и расчетов экономической эффективности улучшения качественных параметров труб, учитываемых в виде соответствующих приплат к цене.

Качество труб конкретного назначения определяется наличием свойств, способных удовлетво-

рить потребность заказчика. Числовые значения каждого из этих свойств или их сочетания в сопоставлении с требуемыми для их достижения затратами определяют уровень качества трубы. Чем больший объем определенных потребностей сможет удовлетворить данное изделие и чем меньше при этом требуется осуществить затрат, тем выше будет уровень его качества.

В табл. 5 приведены сопоставительные данные стальных труб и труб-субститутов.

Таблица 5. Сравнение характеристик стальных вгп труб и труб-субститутов

	Виды труб			
	Стальные вгп без покрытия	Вгп горяче-оцинкованные	Из полимерных материалов	С полимерным покрытием
<b>Области применения</b>				
Строительство	+	+	+	+
Коммунальное хозяйство	+	+	+	+
Транспорт	+	+	+	+
Машиностроение	+	+	+	+
Горнодобывающая промышленность	+	+	+	+
Сельское хозяйство	+	+	+	+
Химическая промышленность	+	+	+	+
Судостроение	+	+	–	+
<b>Возможности технологической переработки у потребителя</b>				
Гибка	+	+	–	–
Сварка	+	+	+	+
Развальцовка	+	+	–	–
Механические операции (сверление)	+	+	–	+
<b>Потребительские и эксплуатационные параметры</b>				
Толщина покрытия, мм	–	30,0–80,0	3,0–10,0	До 3,5
Температура эксплуатации, °С	До 150	До 70	До 120	До 60
Срок службы в коммунальном хозяйстве, год	2,0–3,0	10,0–20,0	30,0–40,0	15,0–20,0
Коэффициент эффективности применения	1,0	3,5	15,0	7,5
<b>Экономические показатели</b>				
Цена, долл. за 1 м*	0,9	1,3	0,7	1,4
Эффективная цена, долл. за 1 м*	0,90	0,37	0,04	0,18

\* Цены ориентировочные.

## ТРУБЫ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Трубы нефтяного сортамента, прежде всего насосно-компрессорные (НКТ) и нефтегазопроводные, в процессе эксплуатации особенно интенсивно подвергаются коррозионно-эрозионному воздействию агрессивных сред и различным механическим нагрузкам.

Коррозия труб, используемых при добыче нефти и газа, обусловлена коррозионной активностью водной и газовой сред и существенно удорожает стоимость добываемой продукции. Наиболее опасными считаются углекислотная коррозия и сероводородное растрескивание. Небольшое (до 2%) содержание  $\text{CO}_2$  в нефти и попутном газе приводит к коррозионному разрушению оборудования из углеродистых сталей со скоростью от 3 до 8 мм в год. Самое значительное количество разрушений трубопроводов наблюдается при использовании сталей с повышенным содержанием марганца (типа 09Г2С, 17Г1С, 17Г1СУ и др.).

Промысловая статистика показывает, что наиболее опасным является разрушение трубопровода в результате коррозионно-механического износа нижней образующей, сопровождаемое образованием канавки шириной до 5 см и длиной до 10–12 м. Для канавочной коррозии характерны высокая скорость разрушения (4–8 мм/год, в отдельных случаях до 18 мм/год) и отсутствие слоя осадка на дне и стенках канавки. Такой тип коррозии приводит к разрыву труб по телу и значительному экологическому ущербу. Чаще всего загрязнение окружающей среды нефтью происходит из-за аварий на внутрипромысловых и межпромысловых нефтепроводах. Например, в России действует около 350 тыс. км таких нефтепроводов, и на них ежегодно, по информации экологов, происходит около 50 тысяч аварий.

Наиболее распространенными причинами аварий черных (без покрытия) НКТ являются коррозия, износ резьбы и усталостные разрушения. В результате средний срок их службы составляет 3 года. По данным промышленной статистики, в настоящее время количество аварий с НКТ на некоторых месторождениях СНГ достигает 80% от общего числа аварий скважинного оборудования.

Как отмечают специалисты и подтверждает многолетний практический опыт, главная причина аварий — разрушение резьбового соединения. Согласно результатам проведенного квалитметрического анализа эксплуатационной надежности насосно-компрес-

сорных труб применительно к сегодняшним условиям их эксплуатации (в частности, на месторождениях Западной Сибири, Оренбургской и Самарской областей), доминирующими — порядка 50% — являются отказы НКТ, связанные с резьбовым соединением (разрушение, потеря герметичности и т.д.). На рис. 1 представлена картина распределения отказов в НКТ по видам. По данным Американского нефтяного института (API), доля аварий НКТ по причине разрушения резьбовых соединений составляет 55%.

Специалисты отмечают, что отечественную НКТ после 3–4 операций свинчивания уже необходимо ремонтировать (резьбовой конец трубы отрезают и затем нарезают новую резьбу, как правило, при этом заменяют и муфту).

Говоря о нефтегазопроводных трубах, следует отметить, что их долговечность в целом очень низкая. Результаты анализа эксплуатации нефтегазопромысловых трубопроводов в разных регионах России и Украины показывают, что прорывы нефтепроводов обычно происходят уже через 6–12 мес после ввода их в эксплуатацию. Установлено, что в 70–75% случаев они являются результатом коррозии металла.

В 1970-е годы началось активное коррозионное разрушение трубопроводов, выявившее полную неподготовленность нефтяной промышленности к этой проблеме, которая и поныне остается актуальной и не до конца решенной для многих нефтедобывающих районов СНГ. При этом в таких регионах катастрофически ухудшается экологическая обстановка из-за разлива в больших объемах нефти и высокоминерализованной воды.

По имеющимся данным, затраты на ликвидацию неблагоприятных последствий коррозионных разрушений составляют до 30% от затрат на добычу нефти и газа. Это свидетельствует об актуальности проблемы повышения коррозионной стойкости и долговечности труб нефтяного сортамента.

В настоящее время для защиты от коррозии труб нефтяного сортамента, и в частности НКТ, применяется ряд мероприятий:

- введение в закачиваемые воды ингибиторов коррозии;
- применение труб из низколегированных и легированных сталей;
- защита поверхности труб противокоррозионными покрытиями;
- герметизация резьбовых соединений труб.

Промышленный опыт нефтяников показывает, что применение ингибиторов требует (помимо капитальных вложений в строительство узлов ингибирования) постоянных эксплуатационных затрат, связанных с расходами ингибиторов коррозии, обслуживанием установок, постоянным контролем эффективности ингибиторной защиты.

Применение труб из низколегированных и легированных сталей (а также труб из стеклопластиков) позволяет увеличить срок службы трубопроводов. Однако расчеты ряда организаций нефтегазового комплекса России показывают, что использование таких труб экономически неэффективно на мелких нефтяных месторождениях, которые в последние годы осваиваются наиболее активно и являются наиболее привлекательными как с позиций рентабельности, так и с позиций привлечения инвестиций (что связано с наступлением рыночных отношений, а также с учетом опыта компаний США и других стран).

Необходимо также отметить, что применение труб из низколегированных и легированных сталей не решает основную задачу — увеличение надежности и долговечности резьбовых соединений НКТ.

С учетом изложенного выше нефтяники и газовики обращают все большее внимание на использование различных покрытий для защиты труб нефтяного сортамента. Об этом свидетельствует расширение работ в данном направлении в основных нефтяных компаниях России (НК Лукойл, Татнефть, ТНК и др.), а также работы, ведущиеся в Объединенной металлургической компании (ОМК) и Трубной металлургической компании (ТМК) — основных изготовителях труб нефтяного сортамента для нефтегазового комплекса России.

Анализ результатов промышленных испытаний труб в различных условиях нефтедобычи показал, что хотя применение для защиты НКТ неметаллических (полимерных, стеклоэмалевых) покрытий и повышает эксплуатационную надежность, однако из-за отсутствия на резьбе труб и муфт износостойкого покрытия эффективная защита НКТ в целом в жестких эксплуатационных условиях нефтедобычи не обеспечивается.

Покрытие, выбранное для труб с нарезными концами, должно не только защищать от коррозии, но и гарантировать резьбовому соединению высокую износостойкость и герметичность.

## Трубы с диффузионным цинковым покрытием нового поколения

Работы украинских специалистов в области увеличения долговечности и эксплуатационной надежности труб нефтяного сортамента показали, что для защиты НКТ и их резьбовых соединений, нефтегазопроводных труб и насосных штанг от коррозионно-эрозионного воздействия агрессивных сред перспективным является использование диффузионных цинковых покрытий (ДЦП). Эти покрытия по сравнению с гальваническими или металлизационными имеют более прочную (диффузионную) связь с защищаемым металлом вследствие диффузии в него цинка, а постепенное изменение концентрации цинка по толщине покрытия обуславливает менее резкое изменение его свойств. Повышенная (по сравнению с гальваническими и металлизационными цинковыми покрытиями) твердость диффузионных цинковых покрытий обеспечивает им хорошую сопротивляемость абразивному износу. Кроме того, особенности структуры диффузионных покрытий благоприятно сказываются на их механических, технологических и защитных свойствах. Такие покрытия позволяют создать надежный защитный барьер между агрессивной средой и металлической поверхностью трубы.

Строение и свойства диффузионных цинковых покрытий, полученных в порошковых смесях, значительно отличаются от строения и свойств гальванических и металлизационных покрытий. Диффузионные цинковые покрытия состоят из нескольких последовательно расположенных железозинковых слоев (фаз), которые образуются в результате взаимной диффузии атомов цинка и железа в процессе диффузионного цинкования (химико-термической обработки).

Структура диффузионных цинковых покрытий в значительной степени зависит от температуры процесса диффузионного цинкования. В конечном итоге в зависимости от температуры в покрытии образуются слои, соответствующие однофазным областям диаграммы состояния системы «железо–цинк», и преимущественное развитие получает та или иная фаза. Толщина слоя образующегося покрытия зависит от продолжительности процесса цинкования.

Микроструктура диффузионного цинкового покрытия с замерами микротвердости представлена на рис. 2.

Физико-механические свойства диффузионных цинковых покрытий играют

важную роль в обеспечении высокоэффективной и долговременной защиты труб, особенно их резьбовых соединений. При этом такой показатель покрытия, как микротвердость, особенно важен, поскольку он во многом определяет эксплуатационные характеристики диффузионно-оцинкованных насосно-компрессорных и нефтегазопроводных труб при их работе в коррозионно-эрозионной среде (транспортирование нефтесодержащей жидкости с частицами песка, гипса, глины и других твердых веществ).

Физико-механические свойства покрытия могут изменяться в процессе его эксплуатации в жестких коррозионных условиях, которыми характеризуется нефтедобыча. Изучение физико-механических характеристик покрытия после воздействия на него жесткой коррозионной среды представляет большой практический интерес.

Исследованиями установлено, что после испытаний в жесткой коррозионной среде по методикам NACE TM 0177-96 и TM 0284-96 (образцы полностью погружали в испытательный раствор NACE: 5-процентный раствор NaCl по ГОСТ 4233 плюс 0,5-процентный раствор СНЗСООН по ГОСТ 19814, насыщенный сероводородом,  $\text{pH} \leq 3,5$ ;  $T = 297 \text{ K}$ , время испытаний 96 час), микротвердость покрытия не изменилась и на диффузионно-оцинкованных НКТ групп прочности Д, Е и Р110 составляла 3560–4890 МПа. Последующие испытания резьбовых соединений диффузионно-оцинкованных НКТ и муфт к ним подтвердили их высокую работоспособность (износостойкость).

Для сравнения приведем значения микротвердости некоторых сталей, используемых для изготовления труб:

- сталь 5сп: 1422–1470 МПа;
- сталь 20: 2265–2540 МПа;
- сталь 22А «селект»: 3138–3187 МПа.

Универсальность диффузионных цинковых покрытий подтверждается их свойствами: по сравнению с гальваническими и металлизационными покрытиями они обладают более высокой твердостью и износостойкостью, а благодаря диффузионной связи — более высокой степенью сцепления с подложкой (основой трубы); в отличие от полимерных труб они не склонны к старению. Цинковая составляющая обеспечивает покрытие достаточную пластичность, протекторные свойства и выполняет функцию твердой смазки. Диффузионно-оцинкованные трубы легко транспортировать без повреждения покрытия, чего нельзя обеспечить

для труб с неметаллическими покрытиями, особенно эмалевыми или стеклоэмалевыми.

Таким образом, исследование и анализ свойств диффузионных цинковых покрытий, полученных по усовершенствованной технологии, позволяют считать их покрытиями нового поколения.

ДЦП нового поколения по большинству показателей отвечают требованиям, предъявляемым к покрытиям для труб нефтяного сортамента, и намного лучше, чем полимерные и стеклоэмалевые покрытия.

Итак, представленные выше данные показывают, что имеется реальная возможность значительно повысить коррозионную стойкость и эксплуатационную надежность труб нефтяного сортамента (включая их резьбовые соединения) путем применения диффузионных цинковых покрытий нового поколения.

Сочетание диффузионных цинковых покрытий (ДЦП) с недорогими и недефицитными металлами обеспечивает значительную экономию средств при производстве и эксплуатации труб нефтяного сортамента.

Стоит отметить, что применение диффузионно-оцинкованных НКТ в нефтегазовой промышленности требует гораздо меньше инвестиций для достижения эквивалентного или даже лучшего эффекта, чем при использовании НКТ без покрытия.

Рассматривая проблему повышения эксплуатационной надежности труб нефтяного сортамента, сформулируем основные положения, характеризующие перспективность и целесообразность применения диффузионных цинковых покрытий нового поколения в нефтегазовой промышленности.

1. Маркетинговые исследования показывают, что в настоящее время в России и на Украине (основные производители труб в СНГ), несмотря на значительное превышение объемами производства труб их востребованности рынком, спрос на трубы с защитными покрытиями есть, и он постоянно возрастает. При этом анализ показывает, что особым спросом пользуются трубы нефтяного сортамента с защитными покрытиями.

2. Диффузионные цинковые покрытия, состоящие из железозинковых фаз определенной структуры и химического состава, обеспечивают трубам нефтяного сортамента 100-процентную защиту (защиту их внутренней и наружной поверхности, а также резьбовых концов) от коррозии и эрозионного воздействия агрессивных сред при нефтедобыче.

3. Использование диффузионных цинковых покрытий нового поколения (заданного состава и структуры) для защиты НКТ позволяет одновременно:

- улучшить герметичность резьбовых соединений труб;

- повысить в 3–5 раз срок службы труб, коррозионную стойкость и износостойкость резьбовой пары «труба – муфта»;

- увеличить количество операций «свинчивание – развинчивание» (в 10–15 и более раз);

- снизить объем и трудоемкость ремонтных работ на скважинах.

4. Использование диффузионно-оцинкованных НКТ не должно рассматриваться только как средство экономии металла: также улучшаются экологическая ситуация и условия труда рабочих, упрощается эксплуатация оборудования, повышается надежность труб и трубопроводов, снижаются затраты на их эксплуатацию и ремонт, увеличивается объем добываемой продукции и снижается ее себестоимость.

В заключение приведем перечень сред и условий, в которых с успехом могут использоваться трубы нефтяного сортамента с диффузионным цинковым покрытием:

- в пластовых водах нефтепромыслов, содержащих сероводород, углекислоту и другие агрессивные компоненты;

- в скважинах, эксплуатирующихся эрлифтным (газлифтным) методом;

- в скважинах, подверженных отложениям парафина на НКТ;

- на нефтепромысловых сооружениях при морской добыче нефти и в шельфовой зоне моря;

- в условиях закачки морской воды при нефтедобыче.

Известно, что в мировой практике значительное количество нефти и газа добывают из скважин глубиной 5000 м и более. В такой продукции содержатся сероводород, углекислота и другие агрессивные компоненты, и ее добыча характеризуется жесткими коррозионно-эрозийными условиями эксплуатации труб. Эти условия нефтедобычи свойственны ряду регионов России и других стран СНГ. Кроме того, в перспективе намечаются большие разработки месторождений на шельфах Каспийского, Азовского и Черного морей. Несомненно, диффузионно-оцинкованные НКТ и другие виды труб нефтяного сортамента найдут широкое применение в этих регионах нефтедобычи.

На основании результатов промышленных испытаний проведено сопоставление основных технических харак-

теристик НКТ с ДЦП и НКТ без защитного покрытия при эксплуатации в условиях нефтедобычи (табл. 6).

Внешний вид пакетов диффузионно-оцинкованных НКТ представлен на рис. 3, а внешний вид резьбового конца (с высадкой) диффузионно-оцинкованной НКТ группы прочности E – на рис. 4.

#### Трубы с полимерными покрытиями

Широкое применение на практике нашли полимерные материалы, которые используют для нанесения защитных покрытий на трубы, резервуары, цистерны, емкости. Для этих целей применяют:

- из термопластичных материалов – поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), полиметилметакрилат, фторопласт;

- из термореактивных материалов – фенопласты, эпоксидные, полиэфирные, эпоксикариловые материалы.

Трубы с полимерными покрытиями активно используются в промышленности. Такие покрытия обладают высокими эксплуатационными характеристиками, они технологичны, и их можно наносить как на внутреннюю, так и на наружную поверхность труб различного сортамента и назначения.

Для защиты внутренней поверхности труб применяются порошковые и жидкие материалы, в основном на основе эпоксидных смол. Порошковые эпоксидные материалы наносят на подготовленную поверхность трубы. Для повышения адгезии покрытие напыляют на предварительно подогретую трубу, температура которой составляет 200–300 °С, а в некоторых случаях и выше. Жидкие материалы наносят одним или несколькими слоями на очищенную, например дробеструйным способом, поверхность трубы. Количество слоев покрытия зависит от требований к покрытию и характеристик применяемых материалов. Выпускаемые в настоящее время материалы с малым количеством

растворителя или без него позволяют наносить покрытия толщиной 200–1500 мкм за один слой. Разработаны технологии нанесения жидких полимерных материалов способом безвоздушного распыления. Способ дает возможность наносить покрытия на трубы диаметром 76–159 мм длиной 6–12 м и применять материалы, обеспечивающие получение одно- и двухслойных покрытий большой толщины (200–1500 мкм).

Трубы с внутренним защитным полимерным покрытием эффективно используют для транспортировки водных коррозионноактивных сред (высокоминерализованной воды с присутствием кислорода, углекислоты, сероводорода), а также пластовых и сточных вод в широком диапазоне pH среды. Трубы предназначаются для транспортировки жидкой среды с температурой 60–95 °С и сухой среды с температурой до 120 °С. Необходимо отметить, что данное покрытие характеризуется высокой стойкостью к абразивному износу, а также к воздействию нефтепродуктов и различных химических реагентов.

Высокие эксплуатационные характеристики продемонстрировали различные эпоксидные эмали, которые используют для нанесения покрытий на внутреннюю поверхность труб размером 159x10 мм для водоводов систем поддержания пластового давления. Промышленные испытания подтвердили высокие характеристики труб с однослойным эпоксидным покрытием толщиной 400 мкм, используемых в водоводе для закачки промышленных хлоркальциевых сточных вод в нагнетательные скважины под давлением 16–17 МПа. Визуальный осмотр и исследования отобранных от испытываемых труб образцов показали, что внутренняя поверхность труб после испытаний в течение 6 мес (срок, достаточный для определения пригодности покрытия в данных условиях эксплуатации) была покрыта лишь тонким (0,1–0,2 мм) слоем смеси неорганических

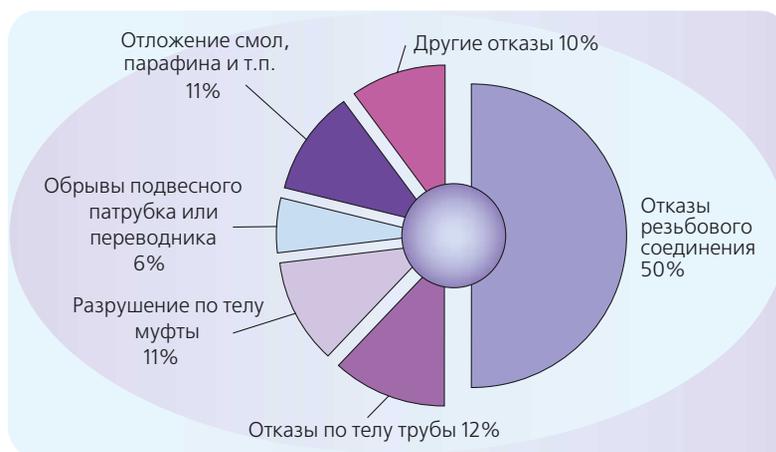
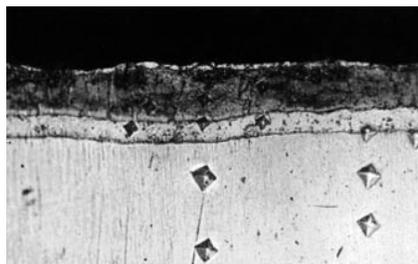


Рис. 1. Распределение отказов с НКТ по видам

солей с нефтепродуктами (смола, парафин, нефть). Цвет покрытия не изменился. Следов механического износа поверхности покрытия не наблюдалось. Адгезия покрытия к металлу оставалась высокой и при испытании образцов методом решетчатых надрезов соответствовала первому баллу. Толщина слоя покрытия по диаметру трубы не изменилась. Осмотр труб без покрытия, эксплуатировавшихся в тех же условиях, показал, что на их внутренней поверхности образовался слой отложений неорганических солей, пропитанных нефтепродуктами, толщиной до 20 мм. После удаления этого слоя на поверхности труб были обнаружены коррозионные повреждения в виде равномерной и язвенной коррозии. Глубина язвин достигала 2–3 мм.

Трубопроводы с внутренним полимерным покрытием значительно реже нуждаются в очистке и сохраняют первоначальную пропускную способность в течение длительного срока эксплуатации. Следовательно, такие трубы обеспечивают не только эффективную защиту от коррозии, но и позволяют увеличить пропускную способность трубопроводов (на 5–10% и более), а также значительно снизить различные отложения на их внутренней поверхности.

Рассматривая вопрос защиты внутренней поверхности труб, необходимо отметить работы по нанесению внутренних алюминийполимерных покрытий. Это покрытия типа «дуплекс-система», и они состоят из слоя алюминия и покрывающего его слоя полимера. Такие покрытия хорошо зарекомендовали себя в качестве противокоррозионной за-



*Рис. 2. Микроструктура диффузионного цинкового покрытия с замерами микротвердости,  $\times 500$*

щиты внутренней поверхности стальных резервуаров для хранения различных нефтепродуктов, труб систем горячего водоснабжения и др. Обычно их наносят способом металлизации алюминия и пневматического распыления лакокрасочного материала. Опыт эксплуатации показал, что такие покрытия обладают высокими защитными свойствами, сравнимыми со свойствами эмалевых покрытий, но дешевле них. Трубы с алюминийполимерным покрытием не требуют особых условий обращения при транспортировке и монтаже. В отличие от эмалированных, трубы с металлополимерным покрытием не боятся изгибов и ударов, сохраняют свои защитные свойства при резке газовым резаком (при монтаже).

Необходимо отметить, что при монтаже труб с внутренним эпоксидным покрытием в трубопровод с целью исключения повреждения покрытия при сварке и для обеспечения защиты от коррозии зоны сварного шва используют специальные подкладные кольца.

Учитывая положительные эксплуатационные характеристики труб с внутренним полимерным покрытием и перспективность их сбыта, ряд российских и украинских заводов осваивает техно-

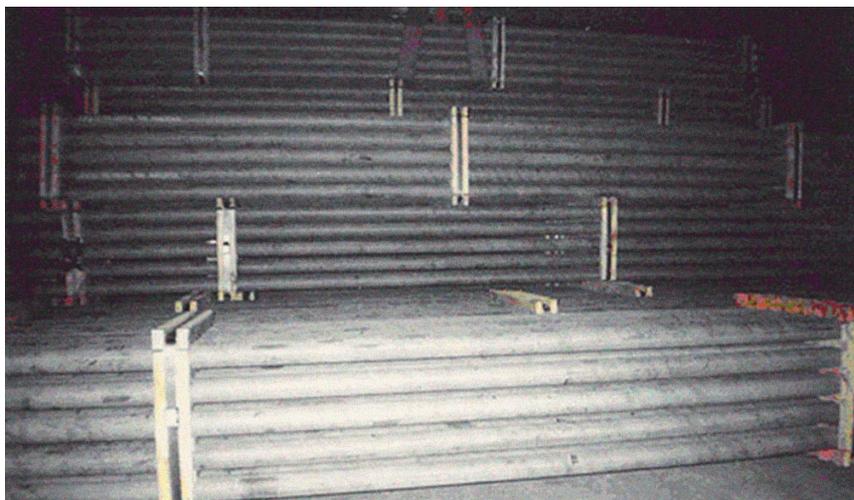
логии их производства. Так, Альметьевский трубный завод (Россия) при сотрудничестве с фирмой Сорон (Великобритания) уже освоил технологии нанесения эпоксидного покрытия как на внутреннюю, так и на наружную поверхность труб диаметром от 76 мм до 530 мм и выпустил опытные партии таких труб. Для защиты монтажных стыков от внутренней коррозии на концы труб наносят алюминиевое покрытие.

Новомосковский трубный завод (Украина) при сотрудничестве с НПП Уникор (Украина) освоил технологии нанесения эпоксидного покрытия на внутреннюю поверхность труб диаметром 159–530 мм, а также технологию защиты от коррозии внутренней поверхности монтажного сварного соединения труб. Трубы предназначены для транспортировки пресной, питьевой, соленой, сточных вод, нефти и различных нефтепродуктов.

НПП Уникор также освоило технологию и выпустило опытные партии труб диаметром 219, 273, 325, 426 и 530 мм длиной от 6 до 11,8 м с внутренним алюминийполимерным покрытием. Подготовку поверхности труб осуществляли дробеструйным способом. Слой алюминия наносили электродуговой металлизацией, а слой полимера — безвоздушным распылением. Полимер наносили в три слоя, первый из которых являлся пропиточным. Общая толщина покрытия составляла 300–350 мкм. Технология и оборудование НПП Уникор позволяют получать механизированным способом покрытия заданной толщины и на трубах больших диаметров, а изготовление покрытия в заводских условиях обеспечивает значительно лучшее соблюдение технологических параметров и, следовательно, более высокое качество покрытия. Технология позволяет наносить покрытия и на детали трубопроводов (отводы, переходники, тройники, муфты и др.).

Следует сказать, что экономически целесообразно применять внутренние полимерные покрытия для трубопроводов средних и больших диаметров.

Говоря о наружной изоляции трубопроводов, необходимо отметить, что для этих целей использовали в основном покрытия на основе каменноугольной смолы и битума. Однако из-за вредного воздействия на организм человека и окружающую среду их использование постоянно снижается, и сегодня их применяют лишь отдельные потребители труб.



*Рис. 3. Внешний вид пакетов диффузионно-оцинкованных НКТ, предназначенных для отправки потребителю*

Таблица 6. Сравнительные характеристики НКТ без защитного покрытия и с ДЦП нового поколения

Показатель	Единица измерения	НКТ без покрытия	НКТ с ДЦП
Скорость коррозии	мм/год	0,5–1,8	0,1–0,3
Вид (характер) коррозии		Неравномерная с образованием раковин и сквозных свищей	Равномерная затухающая во времени
Срок службы	год	1,5–3,0	6–7 и более
Герметичность и коррозионная стойкость резьбовых соединений		Около 50% аварий колонн НКТ происходит в течение 1,5–2,0 лет их эксплуатации в скважинах из-за разрушения резьбовых соединений	ДЦП обеспечивает высокую герметичность и коррозионную стойкость резьбовым соединениям
Процент использования труб (от начала эксплуатации в скважине)	%	30–50	98–100
Количество операций «свинчивание – расвинчивание»		5–6	10–15 и более
Вероятность повреждения резьбовых концов труб (при транспортировке, технических операциях и др.)		Большая	Меньшая

В настоящее время для наружной изоляции трубопроводов все шире используют полимерные (чаще всего полиэтиленовые) покрытия. Трубы с наружным полиэтиленовым покрытием применя-

ют для прокладки магистральных газопроводов, а также для сетей водо- и газоснабжения. Полиэтиленовые покрытия предназначены для эксплуатации в малоагрессивных и агрессивных средах

(водные растворы кислот, щелочей и др.) при температуре до 60 °С. С повышением температуры до 80 °С их стойкость снижается. Полиэтиленовое покрытие мало проницаемо для водяных

### Альтернативные направления

Альтернативой стальным трубам нефтяного сортамента прежде всего являются стеклопластиковые и гибкополимерные трубы.

Стеклопластики характеризуются высокой прочностью при низкой плотности, низкой теплопроводности, немагнитности, высокой атмосферной и химической стойкости.

В качестве армирующего материала применяется стекловолокно (соединение оксидов  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $MgO$ ,  $CaO$  и др.). В качестве связующего используются органические смолы.

Трубы, изготовленные из стеклопластиков, обладают более высокими физико-механическими и химическими свойствами. Интервал рабочих температур от –50 до +180 °С, рабочие давления могут достигать 56 МПа. Стеклопластики обладают антистатическим эффектом.

При сравнительно невысокой стоимости материала трубы из стеклопластиков стоят дороже труб из других полимерных материалов. Поэтому их применяют на наиболее ответственных участках (обсадные трубы при добыче нефти и газа и др.).

Стеклопластиковые трубы могут успешно заменять стальные трубы диаметром 273–720 мм. Ряд нефтяных компаний (Славнефть-Мегионнефтегаз, ТНК-Нижневартовск, Самотлорнефтегаз, Соболев) использовал стеклопластиковые трубы для оснащения участков систем нефтегазосбора и водоводов низкого давления. Сообщается, что оснащение территорий нефтедобычи стеклопластиковыми трубами позволило в 2 раза снизить аварийность трубопроводов, расположенных в водоохраных зонах. Однако возникли и проблемы, главные из которых следующие:

- отсутствие у проектных организаций специализированной программы гидравлических расчетов;
- недостаточная проработка вопроса балластировки трубопроводов (на отдельных участках трубопровод всплывал);
- различные сложности с закреплением трубопровода в местах возможных переездов, а также в местах монтажа задвижек и концевых участков;
- отложение парафинов при транспортировке малообводненных нефтей;
- трудности с выбором серии стеклопластиковых труб, связанные с установлением предельно-

го давления для статического и циклического режимов работы трубопровода.

Опыт эксплуатации стеклопластиковых труб на нефтепромыслах Западной Сибири показал, что основными причинами выхода их из строя являются механические повреждения, неправильный расчет опор при надземной прокладке и отсутствие детальных инструкций по монтажу и эксплуатации трубопроводов. На внутренней поверхности таких труб возможно отложение твердых осадков, уменьшающих проходное сечение. Это явление наблюдалось при перекачке подтоварной воды и при транспортировке малообводненной нефти.

Основным недостатком стеклопластиковых труб все же является их высокая цена. В настоящее время они дороже стальных труб в 6 и более раз. В основном это связано с технологией их производства. Большую часть стеклопластиковых труб изготавливают путем намотки стекловолокна на стальную оправку или полимерную трубу. Существует технология центробежного формирования стеклопластиковых труб. Процесс изготовления труб по этим технологиям прерывистый, длина трубы ограничена. Более перспективной является технология изготовления стеклопластиковых труб непрерывным способом методом экструзии. При этом длина трубы может быть любой, на практике она ограничена лишь способом транспортировки.

Для устранения основных недостатков полимерных трубопроводов, таких как пониженная деформационная стойкость, пониженная механическая прочность при воздействии внутренних давлений, хрупкость при низких температурах, получило развитие производство металлопластиковых труб. К ним относятся трубы, армированные металлической сеткой, перфорированной или сплошной металлической лентой и другими усиливающими элементами.

Трубы из стеклопластиков также применяют для изготовления мачт антенн, при прокладке электропроводки. Существует несколько способов стыковки стеклопластиковых труб: клеевое муфтовое соединение, фланцевое соединение, муфтовое резьбовое соединение и др. Соединения могут быть как разборными, так и неразборными.

Гибкополимерные трубы (ГПТ) представляют собой конструкцию из внутренней полиэтилено-

вой трубы, силового каркаса, внешней оболочки и концевых соединений. Основными достоинствами таких труб являются полная защита от коррозии и удобство монтажа. В России такие трубы производят ОАО «Росфлекс» (г. Самара), ОАО «Омскводпром» (г. Омск), ЗАО «Кварт» (г. Казань). Первые партии ГПТ были успешно применены при укладке на поверхности земли на нефтепромысле Самотлора, где ими были обустроены выкидные линии кустов, куда поступает высокообводненная продукция скважин механизированного фонда. Практика показала, что при соблюдении проектных решений такие трубы можно с успехом использовать и при подземной укладке.

На нефтепромыслах Татнефти гибкие трубы ЗАО «Кварт» (их называют коррозионностойкими рукавами – КСР) широко используют для перекачки непарафинистых нефтей. В конструкции этих труб в силовом каркасе отсутствует металлическая лента, а используются полиэфирные нити на клеевой основе.

Таким образом, промышленный опыт показал, что гибкополимерные трубы являются эффективным средством борьбы с коррозией в условиях высокой обводненности. К недостаткам этих труб следует отнести ограничения по диаметру (150 мм), сезонный характер строительства, ограничения по температуре перекачиваемой продукции, что является основной причиной осложнений при эксплуатации. Применение ГПТ ограничено температурой 45–50 °С, при более высокой температуре происходит вздутие полиэтилена, ослабление связей и разрыв трубы. Производители ГПТ осваивают выпуск продукции на основе полипропилена, который выдерживает температуру эксплуатации 90 °С.

В заключение необходимо отметить, что, когда обводненность добываемой нефтепродукции превышает 60%, надежной мерой предупреждения коррозионно-эрозионных повреждений трубопроводов являются защитные металлические или неметаллические покрытия, которые наносят на внутреннюю поверхность труб. Этот вывод основан на многолетнем опыте промышленных испытаний и эксплуатации труб различного сортамента и назначения с покрытиями на нефтепромыслах России, Украины, Азербайджана и других стран.

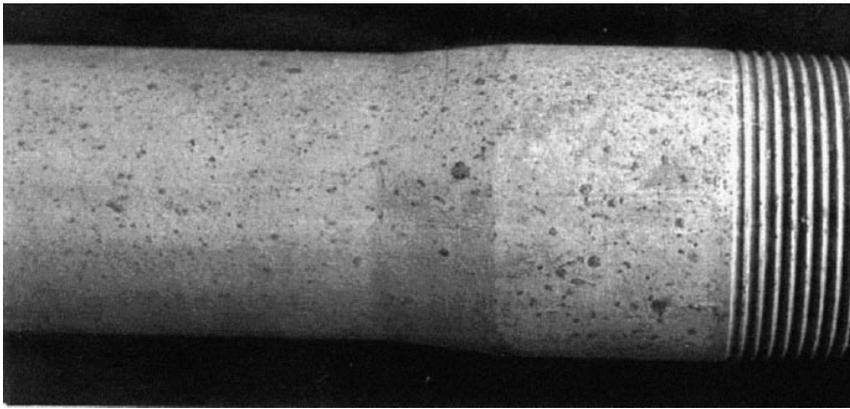


Рис. 4. Внешний вид резьбового конца (с высадкой) диффузионно-оцинкованной НКТ группы прочности E

паров, и по этому показателю полиэтилен уступает в незначительной степени только поливинилиденхлориду. Химически модифицируя полиэтилен, изменяя состав композиции или конструкцию покрытия, можно значительно улучшить его физико-химические и механические свойства. Новая полиэтиленовая изоляция для трубопроводов, разработанная в Канаде, позволила эксплуатировать трубопроводы при температурах выше 90 °С. Улучшенное полиэтиленовое покрытие имеет хорошую стойкость к воздействию химических веществ, нефтепродуктов, и трубопроводы с таким покрытием обладают высокой эксплуатационной надежностью в различных грунтах.

Для наружной изоляции трубопроводов используют одно-, двух- или трехслойные полиэтиленовые покрытия. Однослойные покрытия наносят на подготовленную поверхность трубы без клеящего подслоя (адгезива). Несмотря на возможность повышения адгезии простого полиэтилена спеканием, трубопроводы из труб с однослойным покрытием встречаются очень редко. Ряд предприятий России и Украины освоил технологию нанесения мастично-полиэтиленового покрытия. Такое покрытие состоит из слоя экструдированного полиэтилена, который наносят по мастичному подслою. В качестве адгезивного подслоя используют изоляционные мастики на основе битума.

В связи с двухслойными покрытиями следует отметить, что в конце 1960-х годов фирма BASF (Германия) разработала сополимер этилена и эфира акриловой кислоты (Lucalen), который использовали в качестве термоплавкого подслоя в конструкции двухслойного полиэтиленового покрытия. Такое покрытие состоит из адгезивного подслоя толщиной 250–400 мкм и защитного полиэтиленового покрытия толщиной 1,6–2,5 мм. В промышленных условиях адгезив и полиэтилен наносят методом экструзии на поверхность трубы,

обработанную дробеструением и нагретую до температуры 200 °С. Такие технологии используют в России на Альметьевском трубном заводе для изоляции труб диаметром 114–426 мм и на Украине на Харьцызском трубном заводе, где покрывают трубы диаметром 1220–1420 мм.

С целью повышения адгезии полиэтиленового покрытия к стальной подложке (в широком интервале температур и в условиях сопротивления катодному разрушению) в последние годы разработаны технология и оборудование для нанесения на трубы трехслойного полиэтиленового покрытия. Такое покрытие включает в себя:

- 1-й слой – эпоксидную грунтовку толщиной 70–200 мкм;
- 2-й слой – адгезив толщиной 200–400 мкм, обеспечивающий прочную связь между наружным полиэтиленовым покрытием и грунтовкой;
- 3-й слой – полиэтилен (толщина слоя в зависимости от диаметра трубы и условий эксплуатации составляет 1,2–3,0 мм).

Для нанесения полиэтиленового покрытия на трубы используют два основных метода: экструзию и спекание. В странах Западной Европы применяют в основном метод экструзии с использованием кольцевой или щелевой головки. Покрытия на основе экструдированного полиэтилена обеспечивают надежную защиту трубопроводов от коррозии.

Трехслойное полиэтиленовое покрытие сочетает высокие химические свойства эпоксидного покрытия с высокими механическими свойствами полиэтиленового. Срок службы труб с трехслойным полиэтиленовым покрытием не менее 30 лет при температуре эксплуатации от –20 до +60 °С. Диапазон предельных температур при транспортировке, складировании и хранении труб с покрытием от –45 до +60 °С.

В настоящее время ряд трубных заводов России и Украины освоил трехслойное полиэтиленовое покрытие труб:

- на Волжском трубном заводе (Россия) – трубы диаметром 168–1420 мм;
- на Выксунском металлургическом заводе (Россия) – трубы диаметром 273–1220 мм;
- на Челябинском трубопрокатном заводе (Россия) – трубы диаметром 508–1220 мм;
- на Харьцызском трубном заводе (Украина) – трубы диаметром 1020–1420 мм.

Важным аспектом при организации производства и использовании труб с защитными полимерными покрытиями является комплектация трубопроводов соединительными элементами – отводами, тройниками, муфтами, переходниками и пр. В случае применения сварки необходима защита сварного шва. Промышленный опыт показывает, что расширение использования труб с полимерными покрытиями ограничивается прежде всего отсутствием надежного и доступного способа защиты сварного соединения.

В настоящее время используют различные варианты противокоррозионной защиты сварных монтажных швов.

■ Для трубопроводов транспортировки слабоагрессивных сред (питьевая, горячая вода) применяют нанесение методом металлизации слоя алюминия увеличенной толщины на внутреннюю поверхность труб на расстоянии 120–150 мм от торцов. Установлено, что при этом не ухудшаются механические свойства сварного шва, обеспечивается протекторная защита стальной поверхности, не покрытой полимерным материалом.

■ Для трубопроводов транспортировки агрессивных сред (в которых алюминий нестойк) применяют подкладные кольца с покрытием или кольца из неметаллических материалов. Как альтернатива защитным кольцам при строительстве в зимний период рассматривается способ соединения трубопроводов с помощью биметаллических колец шириной не более 100 мм, которые имеют двухслойное строение (основной слой – углеродистая сталь, на поверхность которой нанесен слой 0,5–1,5 мм нержавеющей стали). Кольца в цеховых условиях предварительно приваривают на концы труб. После нанесения покрытия на внутреннюю поверхность труб их доставляют на трассу, где соединяют сваркой.

■ Для трубопроводов больших диаметров (более 600 мм) предлагается нанесение покрытия, аналогичного основному покрытию тела трубы, ручным способом на зону монтажного сварного шва после сварки трубы. ■■■