

НАФТОГАЗОПРОМИСЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ

УДК 622.275.53.054.22

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В НАФТОВИДОБУВНОМУ КОМПЛЕКСІ

Б.В.Копей, М.М.Архірей, Т.П.Венгришук

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42331,
e-mail: kopeyb@nung.edu.ua*

Розглядається проблема пошкоджених нафтогазопромислових трубопроводів, що піддаються дії внутрішнього тиску і корозії. Для зменшення ймовірності руйнування трубопроводів запропоновано труби із полімерних композитів. Застосування склопластикових труб замість металевих збільшує термін служби трубопроводів у 5-8 разів, виключає необхідність застосування антикорозійних захисних засобів, у 4-8 разів знижує масу трубопроводу, виключає необхідність проведення зварювальних робіт.

Ключові слова: ресурс, трубопровід, пошкодження, дефект, композит, ерозія, склопластик, напруження.

Рассматривается проблема поврежденных нафтогазопромисловых трубопроводов, подвергающихся воздействию внутреннего давления и коррозии. Для уменьшения вероятности разрушения трубопроводов предлагается использование труб из полимерных композитов. Применение стеклопластиковых труб вместо металлических увеличивает срок службы трубопроводов в 5-8 раз, исключая необходимость применения антикоррозионных защитных средств, в 4-8 раз уменьшает массу трубопровода, исключает необходимость проведения сварочных работ.

Ключевые слова: ресурс, трубопровод, повреждение, дефект, композит, эрозия, стеклопластик, напряжение.

The problem of the damaged oilfield pipelines which are subject to action of internal pressure and corrosion is examined in this article. For diminishment of probability of destruction of pipelines authors offer pipes from polymeric composites. Application of fiberglass pipes in place of metallic multiplies the term of service of pipelines in 5-8 times, eliminates application of anticorrosion protective facilities, in 4-8 times diminishes mass of pipeline, eliminates application of welding works.

Keywords: resource, pipeline, damage, defect, composite, erosion, fiberglass, stress.

Актуальність досліджень. Труби нафтового сортаменту, здебільшого нафтогазопромислові і насосно-компресорні (НКТ), в процесі експлуатації особливо інтенсивно піддаються корозійно-ерозійній дії агресивних середовищ і різним механічним навантаженням. Оскільки вони часто виходять з ладу, то особливо актуальним є впровадження в промислову практику корозійно-інертних труб з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ).

Аналіз стану проблеми. Корозія труб, які використовуються у процесі видобування нафти і газу, обумовлена корозійною активністю водного і газового середовищ та істотно підвищує вартість продукції. Найбільш небезпечними вважаються вуглекислота корозія і сірководневе розтріскування. Невеликий (до 2%) вміст CO₂ в нафті і попутному газі призводить до корозійного руйнування устаткування з вуг-

лецевих сталей зі швидкістю від 3 до 8 мм на рік. Найбільша кількість руйнувань трубопроводів спостерігається у випадку використання сталей з підвищеним вмістом марганцю (типу 09Г2С, 17Г1С, 17Г1СУ та ін.) [1].

Промислова статистика свідчить, що найбільш небезпечним є руйнування трубопроводу в результаті корозійно-механічного зношування нижньої твірної, яке супроводжується утворенням канавки шириною до 5 см і довжиною до 10-12 м. Для канавочної корозії характерні високі швидкості руйнування (4-8 мм/рік, в окремих випадках до 18 мм/рік) і відсутність шару осаду на дні і стінках канавки. Такий тип корозії призводить до розриву труб по тілу і значного екологічного збитку. Найчастіше забруднення навколишнього середовища нафтою відбувається внаслідок аварій на внутрішньопромислових і міжпромислових нафтопроводах [2].

Найбільш поширеними причинами аварій сталевих без покриття насосно-компресорних труб (НКТ) є корозія, зношування різьблення і втомні руйнування. Середній термін їх служби складає 3 роки. За даними промислової статистики, на даний час кількість аварій з НКТ на деяких родовищах СНД досягає 80% від загального числа аварій свердловинного устаткування.

Як зазначають фахівці і підтверджує багаторічний практичний досвід, головна причина аварій – руйнування різьбового з'єднання. За результатами проведеного кваліметричного аналізу експлуатаційної надійності насосно-компресорних труб стосовно сьгоднішніх умов їх експлуатації, домінуючими (близько 50%) є відмови НКТ, пов'язані з різьбовим з'єднанням (руйнування, втрата герметичності, тощо). За даними Американського нафтового інституту (API), частка аварій НКТ унаслідок руйнування різьбових з'єднань складає 55%.

Фахівці зазначають, що вітчизняну НКТ після 3-4 операцій згвинчування вже необхідно ремонтувати (різьбовий кінець труби відрізують, а відтак нарізують нове різьблення. При цьому, як правило, замінюють і муфту).

Аналізуючи відмови нафтогазопровідних труб, слід зазначити, що їх довговічність загалом дуже низька. Результати аналізу експлуатації нафтогазопромислових трубопроводів в різних регіонах України свідчать, що пориви нафтопроводів зазвичай відбуваються вже через 12-18 місяців після введення їх в експлуатацію (особливо трубопроводи системи підтримки пластового тиску). Встановлено, що в 70-75% випадків вони є наслідком корозії металу.

У 1970-і роки почалося активне корозійне руйнування трубопроводів, що виявило повну невідповідність вітчизняної нафтової промисловості до цієї проблеми, яка і понині залишається актуальною і не до кінця вирішеною для багатьох нафтовидобувних районів СНД. В таких регіонах катастрофічно погіршується екологічна ситуація через розливи нафти і високомінералізованих вод у великих об'ємах.

За наявними даними витрати на ліквідацію несприятливих наслідків корозійних руйнувань становлять до 30% від витрат на видобування нафти і газу. Це свідчить про актуальність проблеми підвищення корозійної стійкості і довговічності труб нафтового сортаменту.

На даний час для захисту від корозії труб нафтового сортаменту, і зокрема НКТ, застосовується низка заходів:

- додавання інгібіторів корозії;
- застосування труб з низьколегованих і легованих сталей;
- захист поверхні труб протикорозійним покриттям;
- герметизація різьбових з'єднань труб;
- використання принципово нових труб з композиційних матеріалів.

Промисловий досвід нафтовиків свідчить, що застосування інгібіторів вимагає (крім капітальних вкладень у будівництво вузлів інгібу-

вання) постійних експлуатаційних витрат, пов'язаних з витратою інгібіторів корозії, обслуговуванням установок, постійним контролем ефективності інгібіторного захисту.

Застосування труб з низьколегованих і легованих сталей, труб з дифузійним цинковим покриттям нового покоління дає змогу збільшити термін служби трубопроводів, проте неадекватно.

Альтернативою сталевим трубам нафтового сортаменту, перш за все, є склопластикові і гнучкополімерні труби.

Виділення невирішеної частини проблеми. В практиці виготовлення склопластикових і базальтопластикових труб застосовують різноманітні конструкції та технології, в тому числі внутрішні покриття. Невирішеними залишаються питання поєднання конструктивних і технологічних особливостей виготовлення труб з ПКМ та внутрішніх покриттів.

Мета роботи. Виникає необхідність проаналізувати ці особливості труб та намітити найбільш ефективні шляхи вирішення цієї проблеми.

Загалом у світовому нафтовидобутку частка впровадження склопластикових труб складає до 80%. У нас же довгий час практикувалися лише одиничні випадки застосування композиційних труб зарубіжного виробництва. Так, можна навести декілька прикладів світових виробників склопластикових труб.

Мультинаціональна компанія «Амерон Інтернешнл», її європейське відділення в Нідерландах виготовляє склопластикові труби і антикорозійні покриття широкого застосування і працює на ринках Європи, Близького Сходу, Африки і СНД.

Зараз дуже енергійно скуповують активи з виробництва склопластикових труб нафтовидобувні компанії арабських країн. Вони взагалі добре уловлюють перспективи у даному напрямі розвитку, і діють відповідно до досягнення цих цілей. Саудівська компанія Amiantit свого часу підписала низку контрактів загальною вартістю 18 мільйонів доларів з найбільшою нафтовидобувною корпорацією Saudi ARAMCO на постачання склопластикових труб для систем пожежогасіння, а також транспортування нафтохімічної продукції і питної води. Тільки на минулий рік в одній лише зоні Аравійського півострова у компанії було підписано контрактів на сотні мільйонів доларів. Промислова група Amiantit, що діє лише з 1968 року, присутня в 70 країнах світу, пропонуючи широкий вибір продукції з склопластика. З російських компаній – це ТОВ НПП «Завод склопластикових труб» – дочірнє підприємство ВАТ «Татнефть».

Українські компанії відстежують всі ці тенденції, наглядають за колегами з різних країн, щоб не опинитися на узбіччі світового процесу. Серед них – ТОВ «НВП Пластар», завод «Компласт» тощо.

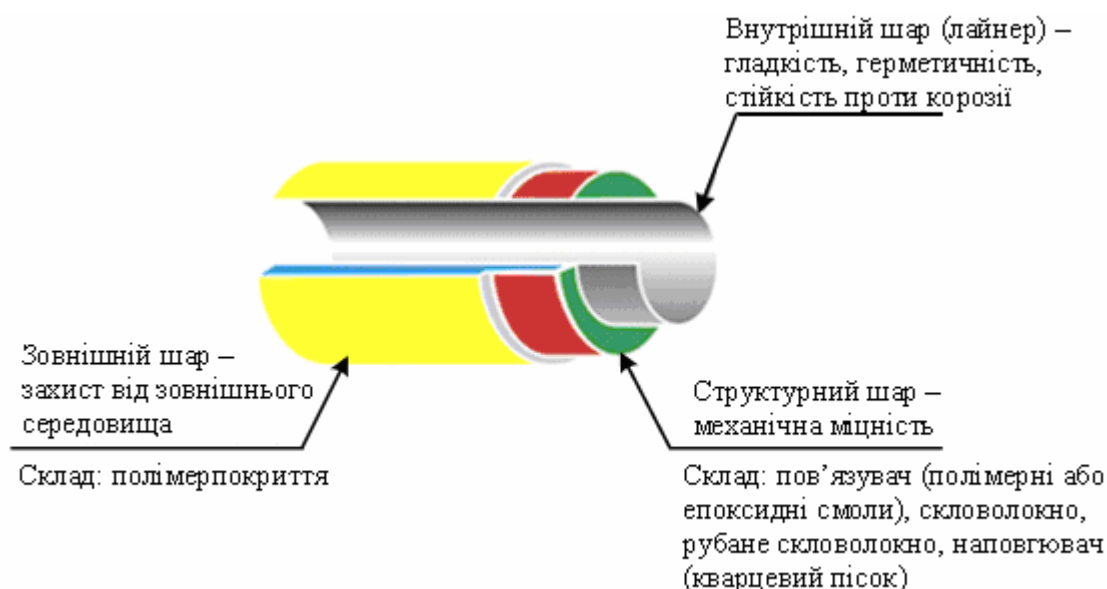


Рисунок 1 – Конструкція стінки склопластикової труби

Труби з полімерних композиційних матеріалів

Склопластики — конструкційний матеріал, що включає як мінімум два основні компоненти: полімерну матрицю і армуючий наповнювач. Тріада експлуатаційних параметрів «температура – тиск – довговічність» склопластикових труб, стінки яких перебувають у прямому контакті з рідиною, залежить від хімічної природи використаної смоли і складу робочого середовища.

Непіддатливі гальванічній і електролітичній корозії склопластикові труби є ідеальним вибором для систем низького, середнього та високого тисків. Понад 35 років у світі широко застосовуються склопластикові труби як найбільш ефективне і економічне вирішення проблеми збільшення терміну експлуатації, надійності і безпеки трубопровідних систем, оновлення застарілого трубопровідного фонду.

Застосування склопластикових труб замість металевих збільшує термін служби трубопроводів у 5-8 разів, виключає застосування антикорозійних захисних засобів, у 4-8 разів знижує масу трубопроводу, не потребує застосування зварювальних робіт.

Способи виготовлення склопластикових труб

Конструкція стінки труби формується на основі армованих скловолокном термореактивних поліефірних смол і піщаного наповнювача. Застосована технологія дає змогу створити структуру стінки труби з використанням характерних властивостей основних сировинних матеріалів:

- безперервна скловолокниста нитка і рубане скловолокно вводяться для створення стягуючого зусилля і осьової міцності;
- наповнювач (кварцевий пісок) використовується в центральній частині стінки труби для створення необхідної жорсткості;

- скотканина використовується для надання необхідних властивостей зовнішньому шару труби.

Таким чином, стінка труби утворюється з пов'язуючих компонентів і армуючих, наповнювача, поверхневих підсилювачів і додаткових компонентів. Як компоненти, що пов'язують, для створення матриці композиту використовуються епоксидні та поліефірні смоли. Використовувані смоли володіють важливими властивостями:

- затвердіння при кімнатній температурі;
- низький ступінь токсичності;
- хімічна інертність;
- міцне зчеплення з скловолокном.

Армуючими компонентами є різні види скловолокна, що забезпечують необхідну міцність, а також корозійну стійкість труби. Застосовуються комбінації безперервного (нитки або ровінги) і рубаного скловолокна. Орієнтація і кількість скловолокна забезпечує різні механічні характеристики труб. Для поліпшення експлуатаційних характеристик склопластика волокна "проклеюються", що збільшує змочувальність смоли і волокон.

Як поверхневі підсилювачі використовуються легкі склопластикові покриття для того, щоб підсилити шари з високим вмістом смол. Поверхневі оболонки із скломатів забезпечує високу стійкість поверхонь труби до дії внутрішнього і зовнішнього середовища.

Товщина стінки труби визначається її структурою, що включає декілька шарів (рис. 1).

Склопластиковий (армований термореактивний) лайнер (внутрішня стінка завтовшки 0,8÷1,2 мм) – забезпечує герметичність і стійкість до дії агресивного і/або абразивного середовища, що транспортується по трубопроводу. Абсолютна шорсткість внутрішньої стінки складає 23 мкм.

Силовий склопластиковий шар – забезпечує механічну міцність при сумісній дії внут-

рішніх і зовнішніх навантажень у ході експлуатації трубопроводу.

Зовнішній шар (гель-коут) – має товщину $0,2 \pm 0,3$ мм (або більше) та забезпечує гладкість зовнішньої поверхні і стійкість до дії вологи, атмосферних явищ, агресивного ґрунту, ультрафіолетових променів і хімічних речовин.

Склопластикові труби в світі виготовляються двома основними способами:

- за методом відцентрового формування;
- за методом безперервного намотування.

Найменш поширеним в світі є метод періодичного намотування, перейнятий у підприємств оборонної промисловості. Даний спосіб рідко застосовується, і з його допомогою виготовляються, в основному, склопластикові труби на епоксидному пов'язувачі.

Метод безперервного намотування

Більшість склопластикових труб в світі виготовляються за методом безперервного намотування скловолокна з пов'язуючим компонентом на оправці. Після намотування труба затверджується, знімається з оправки, випробовується і відвантажується замовникові.

Суть технології

Труба виготовляється із використанням, так званої “крокуючої” оправки і застосуванням ступінчастого процесу охолодження. Рухомі в поздовжньому напрямі сектора оправки просувають намотану трубу крізь печі, в яких проводиться її попередня термообробка, труба “сходить” з оправки і остаточно твердіє в подальших печах. Розрізається труба абразивним алмазним кругом на необхідну довжину.

Структура труби

Технологічний процес виготовлення труб і фасонних виробів полягає в пошаровому нанесенні (на сталеву оправку) скломатеріалів, просіянутих смолою “холодного” твердіння. Тип смоли вибирається відповідно до властивостей середовища, що транспортується трубопроводом. Схема армування визначається шляхом розрахунку, виконаного відповідно до міжнародних стандартів Astm/awwa на підставі заданих умов монтажу і експлуатації трубопроводу.

Після полімеризації утворюється монолітна, інертна і високоміцна структура із стінкою, будова якої представлена на рис. 1.

Устаткування для виготовлення склопластикових труб за технологією намотування складається з таких складових:

- секція подавання скляного ровінгу;
- установка для приготування пов'язувача: суміш поліефірна (епоксидна) смола – каталізатор;
- ванна з пов'язувачем – поліефірною (епоксидною) смолою – каталізатором, крізь яку проходять і змочуються нитки ровінгу;
- секція намотування з валами обертання, розмір яких визначає діаметр кінцевого виробу з склопластику;
- пристрої управління устаткуванням для намотування.

Метод відцентрового формування

Іншим способом виготовлення склопластикових труб є відцентрове формування – технологія, запропонована фірмою Nobas. Процес виробництва цих труб протікає в напрямі від зовнішньої поверхні до внутрішньої, із застосуванням форми, що обертається. Труба виготовляється з рубаних скляних волокнистих ровінгів, поліефірної смоли і піску.

Методом відцентрового формування виготовляються склопластикові труби з поліефірних смол, армованих рубаним скловолокном, і активного наповнювача шляхом подавання сировинних матеріалів у матрицю, що обертається, внаслідок чого утворюється структура труби із зовнішнього шару. В процесі виробництва тверді матеріали, скловолокно і наповнювач додаються до рідкої смоли. Процес полімеризації смоли відбувається під дією каталізатора і додатково прискорюється шляхом нагрівання. Завдяки тривимірним просторовим хімічним зв'язкам, процес полімеризації смоли незворотний. Таким чином, склопластик (GRP) є термостійким матеріалом, що зберігає просторову стабільність за підвищеної температури навколишнього середовища.

Механічні властивості склопластикових труб

Труби з склопластику класифікуються за жорсткістю, номінальним тиском та діаметром.

Жорсткість труби визначається її здатністю чинити опір навантаженням від навколишнього ґрунту і руху транспорту, а також негативному внутрішньому тиску. Чим товща стінка, тим вища жорсткість і здатність до опору навантаженням. За жорсткістю в різних системах стандартизації труби діляться на класи.

За тиском труби класифікуються за номінальним тиском (PN), під яким розуміється величина безпечного тиску води в МПа при $+20^{\circ}\text{C}$ протягом нормованого терміну служби (зазвичай 50 років).

Наприклад, стандартні склопластикові труби фірми Nobas володіють комбінованими, характеристики робочого тиску і жорсткості, показані в табл. 2.

Технологічні процеси виробництва склопластикових труб дають змогу виготовляти труби з внутрішнім покривним шаром, стійким до дії різних середовищ (табл. 3).

У Росії склопластикові труби і деталі залежно від температури, вмісту твердих компонентів, хімічного складу речовини, що транспортується, виготовляють з різними захисними внутрішніми покриттями. Їх поділяють на такі види:

- а – для рідин з абразивними компонентами,
- х – для хімічно агресивних середовищ,
- п – для питної холодної води,
- г – для гарячої (до 75°C) води господарсько-питного водопостачання,
- з – для інших середовищ.

Таблиця 1 – Показники жорсткості труби в різних системах стандартизації

Система стандартизації	Позначення	Одиниця вимірювання	Клас жорсткості		
			SN2500	SN5000	SN10000
ISO	SP	H/м ² (Па)	2500	5000	10000
DIN	SR	H/мм ² (МПа)	0,02	0,04	0,08
ASTM	F/sy	Psi	20	40	80

джерело: дані «American Composites manufactures Association» (CША)

Таблиця 2 – Комбіновані характеристики робочого тиску і жорсткості

Робочий тиск (МПа)	Клас по тиску (PN)	Клас по жорсткості (SN)	Позначення
0,4	4	2500	4/2500
0,6	6	5000	6/5000
1,0	10	5000	10/5000
1,0	10	10000	10/10000
1,6	16	10000	16/10000
2,0	20	10000	20/10000
2,5	25	10000	25/10000

джерело: дані компанії «Hobas»

Таблиця 3 – Труби з внутрішнім покривним шаром

Позначення типу внутрішнього шару труби	Максимальна робоча температура, °C	Граничне значення рН за максимальної температури
VA	35	1,0-9
DA	50	0,8-10
DS	75	0,5-13
HP	90	0,2-14

джерело: дані компанії «Hobas»

Таблиця 4 – Фізико-механічні властивості склопластикових труб на епоксидному зв'язувачі

Найменування показника	Труби спірального намотування з кутом намотування 55	Труби безперервного намотування, армування 21
Межа міцності на розтягування в тангенціальному напрямі, МПа, не менше	240	180
Межа міцності на розтягування в осьовому напрямі, МПа, не менше	120	80
Модуль пружності в тангенціальному напрямі, МПа, не менше	25000	19000
Модуль пружності в осьовому напрямі, МПа, не менше	12000	8000
Коефіцієнт лінійного теплового розширення (осьовий) 1/°C, не більше	18x10 ⁵	21x10 ⁵
Щільність, кг/м ³	1800-1900	1600-1700
Вагове співвідношення скло наповнювач/пов'язувач	65-72/ 35-28	50-55/ 50-40
Тангенціальна напруга при розтягуванні, МПа, не більше	50	35
Осьова напруга при розтягуванні, МПа, не більше	24	16
Деформація при розтягуванні, мм/м, не більше	0002	0002

Товщина шару внутрішнього захисного покриття складає від 0,5 до 3 мм залежно від виду покриття і середовища, що транспортується.

У табл. 4 наведено фізико-механічні властивості склопластикових труб різного способу виготовлення за даними АТ «Прогрес», ТУ 2296-250-24046478-95.

Сортаменти склопластикових труб значні. Так, наприклад, труби за ТУ 2296 250-24046478-95 на епоксидному пов'язувачі виготовляються діаметром від 60 до 400 мм на номінальний тиск від 0,6 до 4,0 МПа. За ТУ 2296011-26598466-96 виготовляються склопластикові труби на поліефірному зв'язувачі з розтрубношиповим типом з'єднання діаметром від 50 до 1000 мм на номінальний тиск 0,6, 1,0 і 1,6 МПа.

Типи склопластикових труб різних виробників можна поділити на три групи за такими ознаками:

- тип пов'язувача (матриці): епоксидний або поліефірний;
- тип з'єднання труб: клейове або механічне;
- конструкція стінки труби: чистий склопластик (без футерування), склопластик з плівковим шаром (футеровані труби), багатошарові конструкції.

Істотною відмінністю між склопластиковими трубами різних виробників є конструкція стінки.

Одношарова склопластикові труба, що виконується без футерування, є класичним прикладом застосування склопластикових труб у світі. Проте, застосування такої конструкції в жорстких кліматичних і складних рельєфних умовах ускладнене низькими температурами навколишнього середовища і зовнішніми механічними діями на трубопровід від переміщень ґрунтів. Для зниження впливу цих чинників потрібно приділяти особливу увагу розробці траншеї під час проведення будівельно-монтажних робіт: розробляти траншею великих розмірів, виконувати піщану подушку трубопроводу тощо. Вартість одношарових труб може бути дещо нижча за вартість труб, футерованих плівковими матеріалами і багатошарових труб, проте вартість виконання будівельно-монтажних робіт значно вища. Крім того, трубопроводи, виготовлені з одношарових труб, менш надійні в експлуатації. Ці обставини істотно знижують техніко-економічний ефект від застосування склопластикових труб одношарової конструкції.

Труби двошарової конструкції, футеровані зсередини плівковими матеріалами, менш схильні до втрати герметичності в умовах пролягання трубопроводів у нестабільних ґрунтах.

Проте, за час експлуатації двошарових труб в трубопроводах нафтопромислів, було виявлено низку серйозних недоліків, що вимагають зміни конструкції і технології виготовлення труби:

- недостатня адгезія між футерувальним і склопластиковим шаром, що не дозволяє забезпечити монолітність стінки труби;
- порушення еластичності матеріалу футерування за низьких температур навколишнього середовища;
- відшарування футерування від склопластикової оболонки труби під час транспортування трубами газомісних середовищ (кесонний ефект).

Забезпечення достатньої адгезії до склопластику і еластичності внутрішнього шару є взаємно протилежними проблемами. Краща адгезія до склопластикового шару забезпечується хімічним зшиванням двох матеріалів і для цього як футерування доцільно застосовувати матеріал терморективної природи. Проте, такий матеріал втрачає еластичність за низьких температур і переваги двошарової конструкції труби нівелюються. Навпаки, кращу еластичність за низьких температур має термопластичний матеріал – поліетилен, проте виконати його хімічне зшивання із склопластиковою оболонкою проблематично. Під час транспортування трубопроводом з двошарових труб газомісного середовища, виникає так званий кесонний ефект, що полягає у відшаруванні внутрішнього плівкового шару від склопластику. У разі розгазування середовища, що транспортується, створюються умови для проходження газу крізь внутрішній плівковий шар, скупчується між склопластиком і футерувальним шаром і створює тиск на футерування зовні.

Під дією тиску газу між шарами, плівковий шар відшарується від склопластику, внаслідок чого конструкція труби порушується. Дане явище не відбувається, якщо в середовищі, що імпортується трубопроводом, відсутній газ.

Склопластикові двошарові труби призначені для транспортування розгазованих середовищ: трубопроводи для перекачування пластових та стічних вод, системи водопостачання тощо.

Внутрішній шар труб може бути виконаний з поліетилену високого тиску - матеріалу, що вважається найбільш хімічно стійким в середовищах трубопроводів нафтопромислів. Адгезія поліетилену до склопластику забезпечується за рахунок використання спеціальної марки поліетилену, що зшивається в процесі затвердіння труби, рецептури епоксидного зв'язувача і режиму термообробки труб. В процесі термообробки забезпечується одночасне зшивання поліетилену і затвердіння епоксидного зв'язувача. В результаті цього відшарувати внутрішній поліетиленовий шар труби від склопластику без руйнування останнього практично неможливо.

Конструкція тришарових труб відрізняється від двошарових наявністю внутрішньої склопластикової оболонки, що конструктивно розкріплена з футерувальним шаром. Внутрішня оболонка не несе навантажень уздовж осі труби, і її конструкція оптимізована для забезпечення більшої міцності в круговому напрямі. Внутрішня оболонка призначена для згладжування внутрішнього тиску в трубі, що циклічно змінюється, виникає у випадку розчинення або розгазування газу, що міститься в продукті, який транспортується. Середовище, що транспортується, проникає в область між внутрішньою оболонкою і плівковим шаром, створюючи тим самим область постійного тиску поблизу футерування, який рівний робочому тиску в трубопроводі. За рахунок того, що тиск поблизу плівкового шару не змінюється, умови

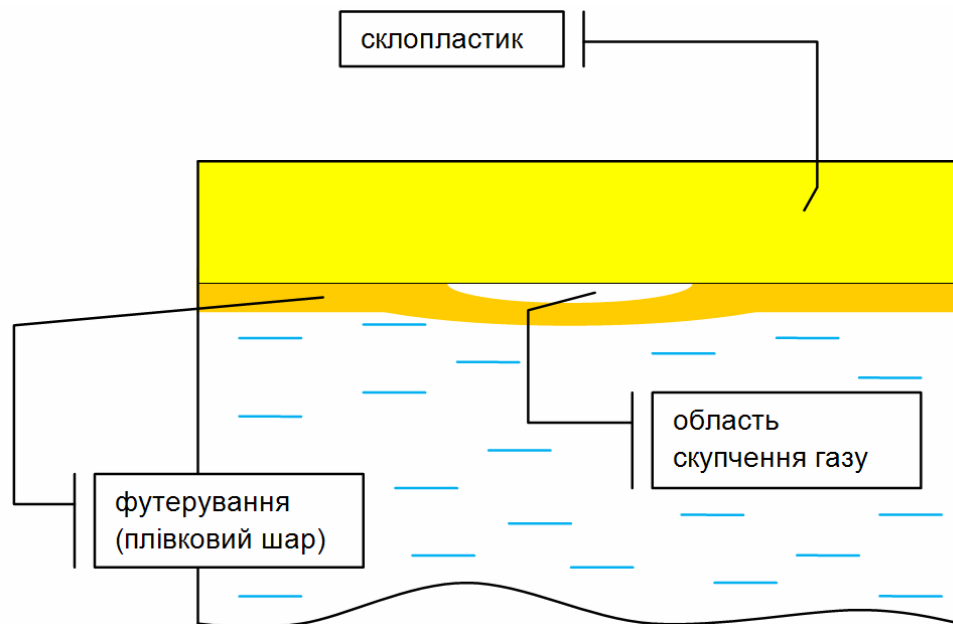


Рисунок 2 – Негативний вплив газовмісного середовища на двошарові склопластикові труби

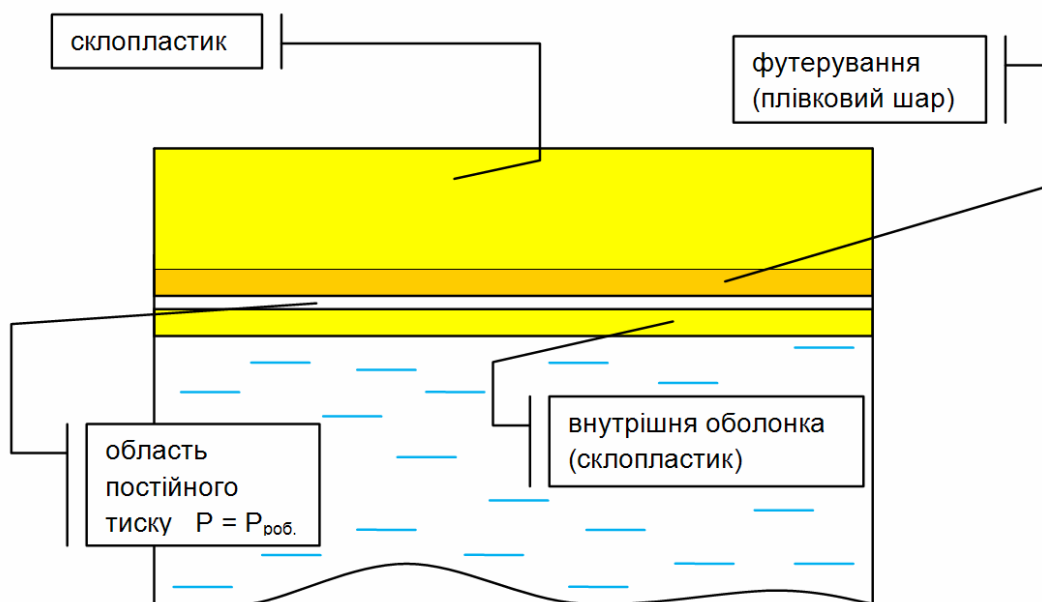


Рисунок 3 – Структура тришарових склопластикових труб

проникнення газу через нього відсутні і кесонний ефект не відбувається. Разом з цим внутрішня оболонка додатково підвищує жорсткість труб і зменшує температурну дію середовища на склопластик, що також підвищує довговічність їх використання.

Таким чином, в тришаровій конструкції склопластикової труби вирішуються більшість питань забезпечення надійності і довговічності:

- механічна міцність і довговічність труб досягається застосуванням композиційного матеріалу – склопластика на епоксидному зв'язувачі;

- надійне стикування труб в трубопроводі забезпечується застосуванням механічного розтруб-ніпельного з'єднання відповідного вимогам міжнародних стандартів в даній галузі;

- герметичність труб у разі виникнення зовнішніх навантажень в процесі експлуатації і будівництва трубопроводів забезпечується застосуванням еластичного футерувального плівкового шару, хімічна стійкість якого є еталонною в нафтових середовищах;

- вирішено питання збереження еластичності футерування за низьких температур при одночасному забезпечення її адгезії до склопластику;

- для транспортування середовищ з високим вмістом газу розроблена і запатентована унікальна тришарова конструкція труби, що не має аналогів в світі.

Труби і з'єднувальні деталі з склопластику мають позначення і виготовляються під стикові з'єднання наступних типів:

Ф – фланцевий,
 Б – бугель,
 М – муфтовий,
 МК – муфтовий клейовий,
 Р – розтрубний,
 З – спеціальний (наприклад, різьбовий).

Принциповим моментом у виробництві склопластикової труби є тип пов'язуючого матеріалу. Найбільшого поширення в світі набули два види пов'язуючого елемента:

- поліефірний пов'язувач;
- епоксидний пов'язувач.

Склопластикові труби на ПЕФ пов'язувачі (GRP-труби) не можуть застосовуватися за високих температур (понад 90°C) і в умовах високого тиску – понад 3,2 МПа. Для застосування в умовах високого тиску, високих температур і при контакті з агресивними середовищами в світі застосовуються склопластикові труби на епоксидному пов'язувачі.

Склопластикові труби на епоксидному пов'язувачі (GRE-труби) здатні витримувати тиск 24,0 МПа. Максимальна температура експлуатації склопластикових труб на епоксидному пов'язувачі сягає 130°C.

Склопластикові труби на основі епоксидних смол мають безліч переваг. Скловолокно, просякнуте епоксидною смолою, не схильне до корозії, і тому не вимагає ізоляції (внутрішньої або зовнішньої), хімічних інгібіторів, катодного і анодного захисту і захисту від корозії. Ще однією перевагою є збільшення терміну служби насосів і іншого вбудованого в трубопровід устаткування через повну відсутність в потоці частинок іржі. Низька теплопровідність GRE-труб зменшує втрати тепла з системи трубопроводів, унаслідок чого у багатьох випадках зникає необхідність в ізоляції.

GRE-труби придатні для транспортування різних хімічно агресивних рідин. Дані труби придатні для інфраструктури нафтохімічної, нафтогазової і інших галузей промисловості, де першорядне значення мають надійність і міцність конструкції.

Склопластикові труби на основі ПЕФ дешевші, ніж труби на основі епоксидної смоли. Низька ціна обумовлена використаною сировиною: ПЕФ смола, склоровінги, рубане скловолокно (частково замінюють склоровінги), кварцевий пісок. Дані труби використовуються для надто агресивних середовищ, здебільшого у водопостачанні.

Також відмінною особливістю GRP труб від GRE труб є габаритні розміри. Як правило, склопластикові труби на основі ПЕФ мають більший діаметр порівняно із склопластиковими трубами на епоксидному пов'язувачі. Діаметр GRP труб складає від 30 до 4500 мм. Діаметр GRE труб – від 5 до 600 мм (може бути і більше) [3].

Таким чином, основний асортимент компаній-виробників склопластикових труб в світі складають склопластикові труби двох видів:

- на основі ПЕФ смоли – для водовідведення (каналізації та ін.), водопостачання.

– на основі епоксидних смол – для агресивних середовищ, для використання в умовах високі температур і високого тиску.

Склопластикові (базальтопластикові) труби з внутрішнім покриттям з поліуретану

Для транспортування агресивних, високоабразивних середовищ і гідросумішей також застосовуються склопластикові (базальтопластикові) труби з внутрішнім покриттям з поліуретану.

Внутрішнє покриття з поліуретану за зносостійкістю перевершує всі відомі полімерні матеріали і традиційні метали. Висока абразивостійкість досягається властивостями самого матеріалу, що оптимально поєднує міцнісні та еластичні характеристики.

Завдяки високій еластичності покриттів знижується сила удару частинок (абразивомісткого середовища, що транспортується) з покриттям і, одночасно, поглинається велика частинка кінетичної енергії, яка витрачається на оборотні деформації.

Застосування склопластику (базальтопластику) як конструкційного шару виключає зовнішню корозію, спрощує вимоги до теплоізоляції (теплопровідність склопластику в 20 разів нижча, ніж металу), знижує можливість обмерзання, у випадку надземного прокладання.

Застосування склопластикових (базальтопластикових) труб з внутрішнім покриттям з поліуретану дає можливість:

- значно підвищити довговічність і надійність трубопроводів за рахунок зниження абразивного зносу, механічної і хімічної корозії;
- значно скоротити витрати на експлуатацію трубопроводів (за рахунок економії на проведенні ремонтів, експлуатаційних заходах і заміні труб, що вийшли з ладу).

За рахунок одночасного формування внутрішнього покриття з поліуретану і конструкційного (силового) шару з склопластику (базальтопластику) забезпечується міцний адгезійний зв'язок покриття з силовою оболонкою (виключаються розшарування, здуття і інші порушення зв'язку).

Склопластикові труби придатні для ремонту. Так наприклад, ремонт склопластикових трубопроводів можна здійснювати за допомогою нового ремонтного матеріалу «Синсоглас». Ремонт можна проводити, не скидаючи залишковий тиск, при значних величинах втрати товщини стінки труби і навіть при наскрізних отворах. Новаторська система для ремонту труб на основі композиційного полімерного матеріалу і склотканини витримує високий тиск і придатна для ремонту надземних, підземних і підводних напірних трубопроводів.

Системи «Синсоглас» довговічні, запатентовані і придатні для застосування в польових умовах і відкритому морі полімерні композиційні матеріали. Крім того, цей метод досконаліший за відомий спосіб, заснований на механічно закріплених муфтах.

Стрічка «Синсоглас» призначена для виконання екстрених ремонтних робіт і допускає застосування як затверджувач або каталізатор затвердіння воду (як річкову, так і морську). Застосування комплектів «Синсоглас» не пов'язане з необхідністю дозування і змішення хімічних продуктів. Полотно «Синсоглас» є склотканиною, просоченою смолою. Безпосередньо перед використанням в ремонтних роботах слід занурити його на 20–30 секунд у воду. Стрічка і комплекти «Синсоглас» застосовуються для з'єднань, підсилюють фізико-механічну міцність, створюють електричну і теплоізоляцію.

Висновки. На основі проведення аналізу літератури зроблені порівняльні характеристики сталевих, чавунних, поліетиленових і армованих поліетиленових труб з трубами з ПКМ.

ПОРІВНЯЛЬНІ ДАНІ СТАЛЕВИХ І СКЛОПЛАСТИКОВИХ ТРУБ

Склопластикові труби мають наступні характеристики в порівнянні з

сталевими, чавунними

1 висока питома міцність. Маючи міцність на рівні сталевих труб, склопластикові легші в 4...4,5 рази, низька вага спрощує транспортування, навантажувально-розвантажувальні роботи і монтаж трубопроводу, і у результаті істотно знижує трудовитрати при його будівництві;

2 висока стійкість до хімічної і електрохімічної корозії, означає, що не потрібно ніяких витрат, зокрема від блукаючих струмів в межі міст і селищ, не вимагається спеціальних засобів антикорозійного захисту, забезпечується постійність гідравлічних характеристик і тривалий (50 і більше років) термін експлуатації;

3 коефіцієнт лінійного розширення на порядок нижчий, ніж у металу;

4 висока абразивостійкість перешкоджає зниженню міцнісних характеристик труби при транспортуванні рідин, що містять механічні домішки;

4 при замерзанні (у разі аварії) **не руйнуються**, а при відігріванні відновлюються всі характеристики;

5 вартість монтажу дешевша на 30-40%, мінімум витрат на обслуговування (ремонт дешевший на 50-60%);

6 теплоізоляція (якщо потрібний) **в 2 рази тонше**, оскільки теплопровідність склопластику в 10-15 разів нижча, ніж у металу;

7 гідравлічний опір на 20-30% менше за рахунок менш шорсткої поверхні, тобто при заданих параметрах витрати можна використовувати труби меншого діаметру на 10-15%, ідеальна гладкість забезпечує високі гідравлічні характеристики, що знижують енерговитрати на перекачування середовища, що транспортується, і що перешкоджає утворенню відкладень;

8 стійкість до процесів ерозії (пісок, тверді породи і тому подібне) **в 20 разів вища**;

9 можливість виготовлення труб різної довжини (від 6 до 18 м), висока якість з'єднань

без якої-небудь попередньої обробки стиків, простота і легкість обробки матеріалу труб, виключення зварки на місці монтажу.

поліетиленовими і армованими поліетиленовими:

1 температурний діапазон експлуатації ширший (від -50°C до +130°C), ніж у поліетиленових і армованих (від -30°C до +60°C).

2 робочий тиск вищий (до 20 МПа), ніж у поліетиленових труб (до 1 МПа) і армованих (до 2 МПа).

3 не вимагається дорогого зварювального устаткування, особливо на діаметри понад 150 мм.

4 дешевші, починаючи з діаметру 300 мм і вище.

5 коефіцієнт лінійного термічного розширення нижчий (у поліетиленових такий же, як і у металевих).

6 відсутнє підвищення старіння і явища повзучості при одночасному внутрішньому тиску і температурі (характеристики знижуються в 5-10 разів).

7 не схильні до киснепроникнення (поліетиленові і армовані поліетиленові схильні, через що кисень поступає в рідину і прискорює процес корозії).

8 не схильні до дії гризунів.

9 мають меншу аварійність.

Основним недоліком склопластикових труб все ж таки є їх відносно висока ціна. В даний час вони дорожчі за сталеві труби в 2÷5 разів. В основному це пов'язано з технологією їх виробництва.

Література

1 Насосні штанги і труби з полімерних композитів: проектування, розрахунок, випробування / Копей Б.В., Максимук О.В., Щербина Н.М. та ін. – Львів: ІПІМ ім. Я.С.Підстригача НАН України, 2003 р. – 352 с.

2 Сучасна протикорозійна ізоляція в трубопроводному транспорті (1-ша частина) / Середницький Я.А. – Львів: ПТВФ «Афіша», 1999. – С. 6-7.

3 Изоляционные покрытия для магистральных газопроводов большого диаметра / Скубин В.К. // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1979. – № 9. – С. 6-9.

*Стаття поступила в редакційну колегію
28.01.10*

*Рекомендована до друку професором
В. Я. Грудзом*