

ПІДВИЩЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ТА РЕМОНТНОПРИДАТНОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ОБСАДНИХ І НАСОСНО-КОМПРЕСОРНИХ ТРУБ МЕТАЛІЗАЦІЙНИМ ПОКРИТТЯМ

І.І. Палійчук, В.Б. Коней, О.Б. Марцинків

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (03422) 44277,
e-mail: public@nung.edu.ua*

На основі газополуменевого металопорошкового напилення герметизуючого шару розроблено спосіб відновлення герметичності з'єднань обсадних і насосно-компресорних труб. Розроблені ремонтнопридатні конструкції муфтових з'єднань і спосіб підвищення їх герметичності. Розроблено методики їх проектування і технологічного забезпечення. Дослідні випробування цих з'єднань з ущільненням підтвердили підвищення їх працездатності в експлуатаційних колонах.

Ключові слова: герметичність, різьбове з'єднання, обсадна труба, ремонтнопридатність, металізаційне покриття, металопорошкове напилення.

На основе газопламенного металлопорошкового напыления герметизирующего слоя разработан способ восстановления герметичности соединений обсадных и насосно-компрессорных труб. Разработаны ремонтнопригодные конструкции муфтовых соединений труб и способ повышения их герметичности. Разработана методика их проектирования и технологического обеспечения. Опытные испытания этих соединений с уплотнением подтвердили повышение их работоспособности в эксплуатационных колоннах.

Ключевые слова: герметичность, резьбовое соединение, обсадная труба, ремонтнопригодность, металлизационное покрытие, металлопорошковое напыление.

The restoration technique of impermeability of casing and tubing pipes joints is designed on the basis of gas-flame powder spraying of pressurizing metallic layer. Maintainable designs of coupling pipes joints and the technique to increase their impermeability are elaborated. Their design technique and procedures of their technological support are elaborated. Experimental testing of these joints with seal assembly has confirmed the increase of their working capacity in production strings.

Keywords: leakproofness, threaded joint, casing pipe, maintainability, metallized coating, powder spraying.

Ефективність і безпека експлуатації нафтових і газових свердловин у складних гірничотехнічних умовах залежить від надійності обсадних колон, що потребує удосконалення їх конструкцій і технологій виготовлення.

Найбільш технологічними для збирання обсадних колон в умовах промислів є муфтові різьбові з'єднання. Але різьби конструктивно є негерметичними, а застосовані герметики і засоби повторної герметизації часто не витримують високих експлуатаційних навантажень, які діють у свердловині. Розлади стандартних різьбових з'єднань є причиною 70% усіх ускладнень, пов'язаних з обсадними колонами. Це призводить до значних матеріальних втрат, зниження продуктивності відбору сировини, забруднення надр і довкілля. Особливо гостро проявляється втрата герметичності при розвідці та розобці газових і газоконденсатних родовищ.

Аналіз якості кріплення свердловин по ВАТ "Укрнафта" за 7 років показав, що у 33% споруджених свердловин виникали міжколонні тиски. Їх основною причиною була негерметичність різьбових з'єднань. Міжколонні перетікання та газопрояви відбувались у 19 свердловинах Долинського нафтопромислового району Прикарпаття. Це спричинило додаткові витрати на їх повторну герметизацію спеціальними методами. Через негерметичність з'єднань обсадних труб не вдалося відремонтувати 3 свердловини, які введені у дефектні зі спеціальним режимом експлуатації.

Для герметизації різьбових з'єднань українськими науковцями були розроблені способи металізації поверхонь різьб [1]. Їх суть полягає у нанесенні на різьбу шару м'якого металу, який заповнює впадини трикутного профілю. При згвинчуванні вершини витків різьби заглиблюються у м'який метал, який за рахунок пластичності заповнює зазори та нерівності на поверхнях різьби, чим створює металічне ущільнення.

Для цього застосували спеціальний електродуговий металізаційний апарат ЕМ-6 [1]. При плавленні двох алюмінієвих дротів у електродузі краплі металу підхоплювались струменем стисненого повітря, розпоршувались на дрібні частки і сильно вдарились до поверхні різьби. Для покращення їх зчеплення з основою муфту повільно обертали і нагрівали до 400°C.

Спосіб електродугового плавлення зумовив застосування алюмінієвого дроту як дешевого і недефіцитного, хоча позитивні результати показали також більш пластичні метали олово і свинець. Для створення електродуги необхідний генератор постійного струму з жорсткою характеристикою та низькою електромагнітною інерцією, що виключає джерела змінного струму. Стиснене повітря потребує ретельного очищення від вологи і масел. Для металізації внутрішніх різьб муфт необхідні спеціальні пристрої та устаткування [1]. Все це обмежило поширення розробленого методу у промислових умовах.

Напилення алюмінію підвищує антикорозійну стійкість різьб у агресивних середовищах при високих температурах, тисках і значних глибинах. Дослідно-промислові випробування підтвердили надійність ущільнених м'яким металом різьбових з'єднань трикутного профілю, які за-лишались герметичними за граничних внутрішніх тисків, допустимих міцністю тіла труби. Висока ефективність металізаційного методу герметизації різьбових з'єднань труб зберігає актуальність і потребує удосконалення у нафтогазовій промисловості. Для підвищення його економічності та універсальності необхідно вибрати найбільш раціональні способи металізації, матеріали і обладнання.

Вибір герметизуючого матеріалу

При виборі матеріалу для герметизації різьбових з'єднань слід виходити з основної функції, яку має виконувати герметизуючий шар – це заповнення та ізолювання впадин і мікронерівностей на поверхнях різьби за рахунок його деформацій. Для цього придатні метали, які пластично деформуються при напруженнях, рівних контактним тискам у з'єднанні під дією експлуатаційних тисків. Це "м'які" метали: свинець, олово, цинк, мідь, алюміній; їх сплави: олов'яно-свинцеві припої ПОС; антифрикційні сплави: свинцеві і олов'яні бабіти, цинкові ЦАМ; свинцеві і олов'яні бабіти, зокрема бабіти, сплави ЦАМ, бронзи, є антифрикційними, що сприяє надійності з'єднань. При згвинчуванні менший коефіцієнт тертя дає змогу зменшити крутний момент і досягти міцності з'єднання.

Придатні для герметизації механічні властивості має олово. Це пластичний, м'який метал, стійкий проти окислення, нешкідливий (на відміну від свинцю), має захисні властивості і найнижчу температуру плавлення. Це дозволяє наносити тонкий шар розплавленого олова на ущільнювані поверхні безпосередньо після їх проточування, що забезпечує хороше зчеплення і не потребує додаткової підготовки поверхонь. Але олово має і негативну здатність – при низькій температурі втрачає свої властивості, перетворюючись у сірий порошок (явище "олов'яної чуми").

Матеріал герметизуючого шару також повинен забезпечувати довговічність з'єднань. Після встановлення і цементування обсадної колони основним показником довговічності з'єднань стає їх корозійна стійкість. У свердловині діє агресивне середовище, утворене хімічно активними речовинами бурових розчинів та наявних у нафті чи природному газі.

Названі метали мають антикорозійні властивості завдяки окисним плівкам на їх поверхнях, які є стійкими від дії відповідних агресивних агентів. Але при контакті з основним металом з'єднання вони утворюють гальванічну пару. Якщо у цій парі сталь матиме нижчий електродний потенціал, ніж нанесений метал, то внаслідок процесу електролізу значно посилиться його корозія у різьбі, що є неприпустимим.

Мідь, свинець, олово та їх сплави мають вищий електродний потенціал відносно заліза і будуть спричинювати електролітичну корозію основного металу з'єднання. Тому лише застошування алюмінію та цинку створює антикорозійне ущільнююче покриття різьби.

Захисні властивості алюмінієвого покриття визначаються, перш за все, міцністю і стійкістю плівки оксиду алюмінію, яка завжди утворюється на його поверхні, та механізмом анодного електрохімічного захисту. Стабільний від'ємний електродний потенціал відносно сталі зберігає алюмінієвий шар лише товщиною, більшою за 0,35 мм [2]. Тому шар алюмінію меншої товщини, яка потрібна для герметизації, не має антикорозійної дії. Його механічні властивості визначає висока твердість і більший коефіцієнт тертя оксидної плівки. У промисловості більше застосовують алюмінієві сплави, які є міцнішими, але менш пластичними, ніж чистий алюміній.

Як свідчать дослідження, для забезпечення герметичності з'єднання слід збільшити натяг за рахунок шару металу лише на 0,05...0,10 мм. Саме такий шар цинку (товщиною від 0,03 мм і вище) зберігає більш від'ємне і стабільне значення електродного потенціалу відносно сталі та гарантує її надійний антикорозійний захист [2]. Високі пластичні та антифрикційні властивості цинку забезпечують надійну герметизацію різьбових з'єднань.

Отже, за пластичними, антифрикційними та антикорозійними властивостями цинк є найбільш придатним для надійної металізаційної герметизації з'єднань обсадних труб. Надійність і працездатність герметизуючого шару залежать від його механічних властивостей та контактних тисків, які діють у з'єднанні. Основні характеристики напиленого шару товщиною до 1 мм представлені у таблиці 1.

Обґрунтування технології нанесення герметизуючого шару

Метод, устаткування і технологія нанесення шару металу на ущільнювані поверхні різьбових з'єднань визначаються, перш за все, їх техніко-економічною доцільністю. На їх вибір впливають такі чинники, як масштабний фактор і серійність виробництва, від яких залежить економічність методу.

Діапазони габаритних і вагових показників обсадних труб значні: діаметри – 114...340 мм; довжини – 8...13 м; маса 1 м труби – 17...125 кг; маса однієї труби – 150...1500 кг. Для ущільнення різьби потрібне покриття довжиною лише 70...100 мм, тому габарити труб роблять недоцільними технології, які вимагають закритих робочих об'ємів. Це такі методи, як наплавлення металу з нагріванням у печі, зануренням у розплав, електролітичне покриття у гальванічній ванні, напилення металу у вакуумних камерах.

Габарити муфт такі: діаметри – 127...365 мм; довжини – 170...220 мм; маса однієї муфти – 3...27 кг. Тут технологію нанесення покриття визначає внутрішнє розміщення і обмежений доступ до ущільнюваних поверхонь.

Таблиця 1 – Механічні властивості напилених металізаційних покриттів [2, 4]

Напилений метал	Міцність зчеплення		Міцність на розтяг		Міцність на стискання			Твердість							
	на відрив	на зріз	границя міцності	відносне видовження	границя плинності	границя міцності	відносне стиснення								
									$\sigma_{зч}$	$\tau_{зр}$	$\sigma_{в}$	δ	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{с}$	ε
									МПа	МПа	МПа	%	МПа	МПа	%
Цинк	2,9	10,0	29...34	1,3...1,45	63...66	127	18	17...25							
Алюміній	4,9	12,5	29...49	0,23...1,1	86	196...216	18	26...40							

Ремонт відноситься до одиничного типу виробництва, його застосування є вибіркоким, тому метод і обладнання для нанесення шару металу мають бути універсальними, мобільними та економічними. Універсальність технології полягає у можливості наносити шар металу як на ущільнювані поверхні великогабаритної труби, так і мати доступ до внутрішньої різьби муфти. Мобільність технології передбачає невеликі габарити і масу установки для покриття, її транспортабельність та незначну трудомісткість налагоджувальних робіт. Встановлення труби для металізації не повинно вимагати додаткових спеціальних верстатів. Технологія покриття не повинна потребувати великих витрат енергії та матеріалів.

Поставленим вимогам найкраще відповідають технології напилення металів. Газотермічне напилення дозволяє наносити металеві чи полімерні покриття заданої товщини. Воно включає процеси нагрівання вихідного металу до рідкого чи пластичного стану і його перенесення на основу газовим струменем, який розпилює матеріал і надає його частинкам високу кінетичну енергію для зчеплення при зіткненні з поверхнею основи [2-3].

Процеси газотермічного напилення залежать від джерела теплової енергії для нагрівання матеріалу і можуть бути газоелектричними чи газополумєновими. У газоелектричних процесах відбувається плавлення вихідного металу за рахунок теплової дії електричної дуги, електродного плазмового струменя, індукційного нагрівання струмами високої частоти, електроплавильного тигля.

Тигельне напилення можна застосувати лише для легкоплавких металів з температурою плавлення до 500°C, що унеможливорює використання алюмінію. А цинк має здатність утворювати великі кристали, які можуть закривати вихід з форсунки. Для утримання рідкоплинності розплаву треба підтримувати температуру у тиглі вищу на 10...15% за температуру плавлення, а також нагрівати повітря, щоб не охолоджувався тигель. Це вимагає великих витрат матеріалів та електроенергії.

Енерговитратним також є високочастотне напилення, для якого необхідні генератори струму частотою 70...500 кГц. Внаслідок дії СВЧ потрібне інтенсивне водяне охолодження спірального індуктора і силового кабеля, що не дозволяє створити мобільні апарати для ручної

роботи. Коефіцієнт корисної дії високочастотної установки складає усього 15...20% [2, 4].

При плазмовому напиленні температура дугового струменя досягає 5000...16000°C і вище. Цей метод ефективніше застосовувати для отримання покриттів з тугоплавких металів (вольфрам, молібден, титан, ніобій), керамічних матеріалів (оксид алюмінію, діоксид і силікат цирконію), тугоплавких матеріалів (карбідів, нітридів, боридів, силіцидів), керметів тощо. Нейтральність плазмоутворюючих газів (гелію, аргону), які транспортують напилюваний матеріал, попереджує його окислення. Для підтримання стабільності електричної дуги потрібні джерело постійного струму великої потужності та інтенсивне водяне охолодження мідного сопла плазмотрона, яке обтискає і формує плазмовий струмінь. Це зумовлює високу вартість обладнання та його стаціонарність [4].

Для електродугової металізації теж необхідні перетворювачі постійного струму, бо процес напилення при змінному струмі є нестійким, для нього характерні циклічні перерви і збої [2-3]. Електрична дуга горить між дротяними електродами, які плавляться і розпилюються повітрям. Для підтримання процесу потрібен спеціальний механізм подачі дроту з постійною швидкістю, яка має бути точно узгоджена зі швидкістю його плавлення у дузі.

Для усіх розглянутих процесів необхідним є розплавлення металу перед напиленням. Це спричинює дуже широкий і неконтрольований діапазон розмірів (дисперсності) рідких часток металу, які значно залежать від режимів плавлення і розпилення. Крім того, проходить їх інтенсивне окислення, особливо при розпиленні повітрям, що погіршує фізико-механічні властивості шару покриття. Застосування нейтрального газу (аргону) з іншими, ніж у повітря, теплофізичними параметрами при електродуговій металізації вимагає підвищення режимів напилення (сили струму, тиску газу), що збільшує витрату електроенергії та матеріалів.

При газополумєновому напиленні використовується тепла енергія згоряння газу (ацетилен, метан, водень, пропан-бутан тощо). При їх згорянні у кисні виділяється велика кількість тепла і досягається висока температура полум'я [2], що уможливорює напилення тугоплавких матеріалів. А суміш горючого газу з повітрям дає низькотемпературне полум'я (до 500...900°C). Цього достатньо для нагрівання до високо-

Для герметизації різьбових з'єднань найбільш придатним є цинковий металевий порошок ПГ-АН-27 за технічними умовами ТУ ІЕЗ 600-86 з таким масовим вмістом компонентів: цинк – основний; алюмінію 14...17%; інші метали – до 0,2%. Цей порошок на практиці виявив найкращі показники для створення високонадійних покриттів. Незначний вміст алюмінію усуває злипання розплавлених часток цинку та утворення великих кристалів і згустків на напиленій поверхні, до чого цинк має схильність. Таке покриття має антикорозійну стійкість у 5 разів вищу, ніж чистий цинк [4].

Цей металевий порошок, розроблений в ІЕЗ ім. Патона, широко застосовується у промисловості під маркою ПР-ЦнЮ 16, зокрема, АО "Полема" НПО "Тулачермет" (м. Тула, Росія) або Торезьким заводом наплавлювальних матеріалів (м. Торез Донецької обл.).

Досвід відновлення герметичності різьбових з'єднань обсадних труб

З метою практичної перевірки можливостей технології металізаційного напилення для відновлення герметичності і ремонту з'єднань проведена її дослідна апробація на промислових зразках муфтових з'єднань обсадних труб ОТТГ діаметром 146 мм, товщиною стінки 9,5 і 10,7 мм, групи міцності сталі Е, які були негерметичними. Ці типорозміри обсадних труб найчастіше застосовують у свердловинах для експлуатаційних колон, оскільки саме до їх з'єднань ставлять підвищені вимоги щодо надійності, міцності та герметичності.

Напилення герметизуючого шару проведено на установці газополуменового порошкового напилення УГПН-005 у лабораторії захисних покриттів ІЕЗ ім. Є.Патона. Для цього був розроблений технологічний процес відновлення герметичності (режими підготовки та обробки ущільнюваних поверхонь, режими напилення).

Герметизуючий шар цинку з часткою алюмінію товщиною 0,15 мм напилили на ущільнення муфт ОТТГ 146. Вони були згвинчені з трубами ОТТГ 146 х 9,5 Е та 146 х 10,7 Е. При попередньому опресуванні ці з'єднання були герметичними лише при випробувальних тисках, нижчих за стандартні.

Напилені з'єднання були опресовані на трубній базі нафтогазовидобувного управління "Долина нафтогаз", м. Долина Івано-Франківської області, на стаціонарній установці У-700. Установка гідравлічна випробувальна У-700 призначена для гідравлічних випробувань труб з муфтовими з'єднаннями на герметичність і міцність методом опресування водою під високим внутрішнім тиском (до 64 МПа).

Відновлені з'єднання виявились герметичними при стандартних опресувальних тисках відповідно 57,9 і 62,8 МПа. Згідно з ГОСТ 632-80 підтверджена герметичність відремонтованих вузлів ущільнень та встановлено для них величину допустимих надлишкових тисків. На підставі цього актами визнано, що вони придатні та можуть бути застосовані у експлуатаційній колоні при кріпленні свердловин.

Висновки

Для підвищення герметичності та ремонтнопридатності різьбових з'єднань обсадних і насосно-компресорних труб запропоновано газополуменове порошкове напилення. Найбільш ефективним є напилений герметизуючий шар товщиною 0,10...0,15 мм з цинково-алюмінієвого сплаву у співвідношенні 6:1. Опресування муфтових з'єднань обсадних труб з напиленим шаром підтвердило відновлення їх герметичності за максимальних тисків та придатність їх використання у експлуатаційній колоні для кріплення свердловин.

Література

- 1 Еременко Т.Е. Герметизация резьбовых соединений обсадных колонн нефтяных и газовых скважин / Т.Е.Еременко, Д.Ю.Мочернюк, А.В.Тищенко. – К.: Техника, 1967. – 170 с.
- 2 Сонин В.И. Газотермическое напыление материалов в машиностроении / В.И.Сонин. – М.: Машиностроение, 1973. – 152 с.
- 3 Хасуи А. Техника напыления / А.Хасуи; пер. с япон. - М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
- 4 Газотермическое напыление порошковых материалов: справочник / Ю.С.Борисов, Ю.А.Харламов, С.Л.Сидоренко, Е.Н.Ардатовская. – К.: Наукова думка, 1987. – 544 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
11.11.11
Рекомендована до друку професором
Петриною Ю.Д.*