

ПРОБЛЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ НА ПРИКЛАДІ СТАЛЕВИХ ВИСОКОМІЦНИХ КАНАТІВ

Д. Г. Зеленцов, ДВНЗ Український державний хіміко-технологічний університет, Україна

Г. П. Іванова, Національний гірничий університет, Україна

А.С. Штельмах, директор з капітального будівництва ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат», Україна

У запропонованій роботі досліджується стан проблеми проектування і антикорозійного захисту конструктивних елементів на прикладі сталевих високоміцних канатів вантово - стержньових конструкцій. Проаналізовані моделі зниження захисних властивостей покриттів і моделі деформації конструкцій із захисними покриттями. Проведений аналіз і узагальнення результатів моделювання, а також сучасних методів захисту вантово-стержньових систем.

Вступ. На металеві конструкції і їх елементи в процесі експлуатації впливають хімічно активні середовища, що викликають корозію. Ці чинники призводять до зменшення несучої здатності, скороченню розрахункового терміну експлуатації конструкцій. При цьому змінюються початкові геометричні характеристики конструкційних елементів, зміни можуть бути настільки значними, що рішення задачі напружено - деформованого стану і довговічності вимагатиме спеціальних підходів [1].

Істинні економічні втрати від корозії оцінити важко, зважаючи на різноманітність її наслідків, тому способи захисту конструкцій, вибір оптимальної форми і розмірів, є актуальними і вимагають подальшого розвитку і вдосконалення.

Вантові системи, як один з видів металевих конструкцій, широко використовуються в будівництві. Сталеві канати і пучки дроту - несучі елементи висячих покриттів, і через свої конструктивні особливості мають певну специфіку, тому їх антикорозійний захист повинен враховувати ці особливості і застосування відповідних технологій і матеріалів. Довговічність і працездатність сталевих канатів визначає експлуатаційну придатність будівлі.

Постановка задачі. Довідкові дані про вплив агресивних середовищ на метали, найчастіше є середніми значеннями параметрів корозії. У будівельних нормативних документах до недавнього часу проблема урахування дії агресивного середовища взагалі відділялася від проблеми розрахунку конструкцій. Корозійний знос враховувався шляхом збільшення товщини конструктивного елемента. Приведені значення коефіцієнтів запасу, які використовують при розрахунках конструкцій на міцність і стійкість, вимагають уточнення.

Моделі дії агресивного середовища є рівняннями, які зв'язують параметри елементів конструкції (геометричні або механічні), параметри агресивного середовища з часом та параметрами напружено-деформованого стану конструкції [1]. На відміну від завдань в класичній постановці, деякі постійні величини, характеризуючі властивості елемента в нейтральному середовищі, стають функціями. При цьому міра їх зміни зазвичай неоднакова для різних точок конструкції [2]. Таким чином, дія агресивного середовища призводить до виникнення, змінної з часом, неоднорідності геометричних і, в деяких випадках, механічних властивостей по області конструкції. Модель агресивного середовища повинна задавати закон зміни початкових геометричних характеристик.

Результати досліджень. Підвищення надійності і довговічності металоконструкцій досягається використанням захисних покриттів. Робота захищених покриттям конструкцій складається з двох періодів: періоду роботи із захисним покриттям, протягом якого не відбувається корозійного руйнування металу (інкубаційний період), і періоду роботи із зруйнованим покриттям, коли корозійний знос конструкційного елемента відбувається так само, як і при відсутності покриття.

До теперішнього часу побудований ряд моделей зниження захисних властивостей покриттів і моделей деформації конструкцій із захисними покриттями. Нижче приведені деякі з них [3], [4]:

$$\frac{dD}{dt} = -A \cdot (1 + k\sigma);$$

$$\frac{dD}{dt} = -A \cdot (1 + k\sigma) \cdot t^b;$$

$$\frac{dD}{dt} = \frac{-A \cdot (1 + k\sigma) \cdot t^{b-1}}{\left(1 + A \frac{t^b}{b}\right)^2}.$$

де k - коефіцієнт впливу напруги на швидкість зниження захисних властивостей; A і b - константи, що характеризують захисні властивості цього покриття. Як параметр, що характеризує зниження захисних властивостей покриття, приймається узагальнений показник якості покриття D ($0 < D < 1$).

Наявність моделей зниження властивостей захисних покриттів дозволяє визначити тривалість інкубаційного періоду, який може залежати від рівня напруженого стану.

Високоміцні канати є найважливішими елементами вантових і гібридних несучих систем. Вони поєднують в собі позитивні якості високоміцного дроту і гарячекатаної стерженьової арматури і позбавлені багатьох недоліків останніх. Канати мають приблизно таку ж міцність, як і високоміцний дріт, велику довжину та високу заводську готовність. Їх безперечні переваги - повне використання несучої здатності металу, мала власна вага і невисока вартість (збільшення міцності сталі випереджає зростання її вартості), різноманітність форм і архітектурна виразність будівель; транспортабельність елементів та зручність монтажу; висока сейсмостійкість.

До їх недоліків можна віднести - підвищену деформативність, необхідність додаткових конструкцій для сприйняття розпору та відносну трудність водовідведення.

Нормативна і технічна література нашої країни в неповній мірі освітлює питання антикорозійного захисту високоміцних канатів. Закордонні дослідження дозволили визначити механізм корозії канатів, вплив різних агресивних середовищ і умов завантаження, виявити способи захисту, рекомендації по конструюванню і напряму пошуку нових рішень захисту.

Масивні конструктивні елементи і канати великих розмірів сильніше реагують на добові зміни температури, що призводить до більш вираженого накопичення води з конденсату або дощу.

Для фарбованих поверхонь важливими чинниками забезпечення стійкості проти корозії дій є якість виконання робіт і величина зчеплення лакофарбових покриттів з поверхнею металу. При послабленні зчеплення в пограничному шарі внаслідок вологи, відсутності активних антикорозійних пігментів і великої проникності кисню відбувається інтенсивний розвиток корозії.

Характерним видом такої корозії є утворення бульбашок і кратерів. За наявності продуктів корозії в таких бульбашках відбувається їх розтріскування і подальше прискорення процесу окислення металу.

Антикорозійна дія цинкового покриття заснована на утворенні плівок цинкового оксиду, цинкового гідрооксиду або карбонату.

За атмосферних умов швидкості утворення таких плівок і корозійного зносу визначаються агрегатним станом і кількістю, видом і об'ємом діючої води і мірою забруднення повітря, особливо наявністю сірчистих і хлорних з'єднань. Продукти корозії у вигляді білого нальоту цинкового гідрооксиду на зовнішніх проволочках і усередині каната погіршують стан захисного покриття.

На кородованій поверхні залежно від виду механічного завантаження, конструктивного оформлення, характеру і об'єму корозійного прояву здійснюється ініційований механізм руйнування.

Поверхневий корозійний знос.

Анодна корозія може бути рівномірною, або локальною. Місцями інтенсивного прояву цієї корозії є незахищені поверхні, а також ділянки активної дії води і агресивних сірчистого і хлоридного газових середовищ.

Для таких форм корозії руйнування дротів при статичному навантаженні можливо за умови, коли напруга в них перевищує граничне значення для зразків з тріщиною. При змінному завантаженні граничне напруження обмежено величинами вібраційної міцності або втотою для зразків такого типу.

Тріщинна корозія під напругою.

Для статично навантажених канатів при застосуванні дроту високої міцності (понад 1600 Н/мм²) і значному рівні напружень від зовнішнього навантаження можливий прояв так званої тріщинної корозії. Така корозія утворюється вже при невеликій місцевій корозії або наявності неочищеної води або конденсату. Початкові тріщини найчастіше візуально невиразні.

В умовах перешкоджання доступу кисню ззовні і розкладанню води, відбувається утворення водню. Так виникає тріщинна воднева корозія, що має аналогічні вказаним вище ознаки прояву. Для того, щоб уникнути появи тріщинної корозії необхідно при виборі канатних елементів проаналізувати можливість застосування в них високоміцних дротів, які мають меншу кількість початкових технологічних мікротріщин, що виникають на стадії виготовлення. Крім того при підборі перерізу канатів необхідно обмежувати граничне напруження в них, зважаючи на умови прояву локального напруження.

Корозія з утворенням тріщин втоми.

Наступним видом руйнування для динамічно завантаженого дроту є тріщинна вібраційна корозія. Це утворення тріщин і руйнувань при коливаннях з одночасним впливом корозії. Величина вібраційної міцності визначається числом циклів завантаження і концентрацією корозійного середовища.

Корозія тертя.

Це ушкодження дроту під впливом тертя і окислюючого середовища. Під впливом тертя відбувається стирання поверхні контакту і локальне порушення кристалічної структури. Такі порушення сприяють появі піків напруження, тріщин і руйнуванню. Для прояву корозії тертя потрібно взаємне зміщення суміжних дротів, яке відбувається при додаванні зовнішнього навантаження, а також контакти з іншими елементами, наприклад з металом для заливки анкерів або клемми. На величину граничного навантаження для каната істотний вплив мають частота його зміни і амплітуда. Різниця між вібраційною міцністю окремого дроту і сплеченого з нього каната в більшій мірі визначається корозією тертя.

Врахування корозійного руйнування дозволяє правильно визначити необхідні способи захисту, вимоги по конструюванню і догляду в процесі експлуатації.

З умов корозійної стійкості найбільш стійкими по відношенню до корозії являються закриті спіральні канати. Вони мають відносно великий коефіцієнт заповнення. Зовнішні Z - подібні шари дротів добре захищають від зовнішніх дій, призначені для сприйняття середньої величини навантажень (рис. 1).

Відкриті спіральні канати дешевші, призначені для малих і середніх навантажень. Через свої конструктивні особливості мають деяку нерівність зовнішньої поверхні, що створює передумови для утруднення якісного антикорозійного захисту.

Пасма - малі спіральні канати, мають відносно невисоку несучу здатність. З них виготовляються другорядні елементи тросових мереж. Вони мають аналогічні спіральним канатам переваги та недоліки.

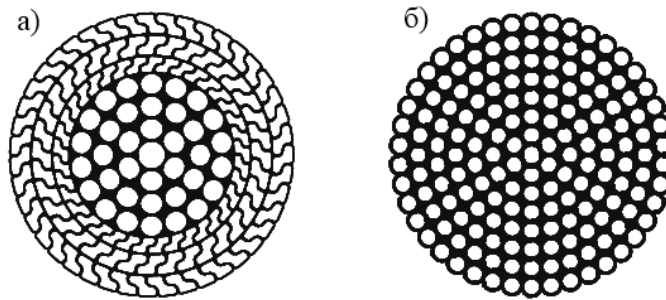


Рис. 1. Перерізи канатів фірми «Bridon»: а – закритий канат; б – спіральний канат

Канати, звиті з круглих пасм мають досить високу несучу здатність, проте вони мають відносно малий коефіцієнт заповнення, рідко застосовуються, як розтягнуті несучі елементи та вимагають підвищених витрат на забезпечення антикорозійного захисту.

Пучки складаються з паралельно розташованих елементів, з'єднаних разом. Залежно від виду елементів, пучки підрозділяють на дротяні, пасмові і канатні. Вони призначені для сприйняття значних навантажень, наприклад, головні кабелі великопролітних мостів. Відносно малий коефіцієнт заповнення, велика кількість порожнеч і нерівностей зовнішньої поверхні перешкоджають антикорозійному захисту.

Високоміцний дріт дуже сильно реагує на механічні локальні тріщини і зменшення площі поперечного перерізу (тертя, корозія), його ушкодження не підлягає ремонту, тому необхідно добре захистити канати, а також конструювати розтягнуті елементи з можливістю їх заміни.

Разом з антикорозійним захистом необхідно враховувати характеристики вибраної сталі і геометрію розтягнутих елементів (гладкість зовнішньої поверхні, коефіцієнт заповнення, максимальні проміжки між дротами усередині елементів і т. д.), а також очікувані деформації при транспортуванні, монтажі і установці в проектне положення.

Найчастіше антикорозійний захист канатів здійснюється за трьома напрямками: металеві покриття з цинку або алюмінію для дротів, заповнення внутрішніх порожнин або внутрішній захист і зовнішні поверхневі покриття.

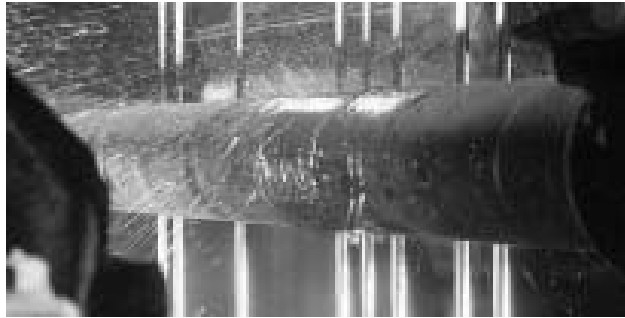
Наприклад, в канатах компанії Брайдон (Bridon), окрім оцинкування окремих дротів, застосовують також спеціальне покриття (Galfan) - двокомпонентний сплав цинку з алюмінієм з евтектичним відношенням 95 % цинку до 5 % алюмінію. Це покриття дає багатократне збільшення захисних властивостей дроту в порівнянні з оцинкуванням такої ж товщини, воно також наноситься способом занурення у гарячу суміш. У спіральних канатах покриття Galfan наносять на весь дріт, в закритих канатах - тільки на два зовнішні шари фасонного дроту (рис. 2).

Внутрішній захист здійснюється шляхом заповнення внутрішніх порожнин при приготуванні пучків і канатів або за допомогою ін'єкцій. Заповнювач має бути пластичним, однорідним, мати водовідштовхувальні властивості, знижувати тертя, активно перешкоджати розвитку корозії, не старіти, не виштовхуватись назовні.

У якості такого захисту використовується паста зі свинцевого сурику на основі оліфи. При взаємодії із зовнішнім повітрям така паста не висихає і залишається пластичною. Рухливість пасти дозволяє заповнювати порожнини, що з'являються, наприклад, в місцях перехрещення канатів або у зоні анкерів. Надмірна рухливість канатів з анкерами, що знаходяться на різній висоті, внаслідок гідростатичного тиску може викликати витискування захисної пасти назовні в районі нижнього анкера. Також використовують тиксотропне мінеральне масло і пасту з цинкового порошку.

Одним з варіантів зовнішнього захисту є лакофарбове 3 - 4 шарове покриття, його загальна товщина складає близько 150 мкм. Також для антикорозійного захисту зовнішньої частини канату рекомендується використовувати суспензію (Metalcoat) алюмінієвих флокенів, на основі вуглеводневого полімеру, розбавлену розчинником для зручності нанесення.

а)



б)

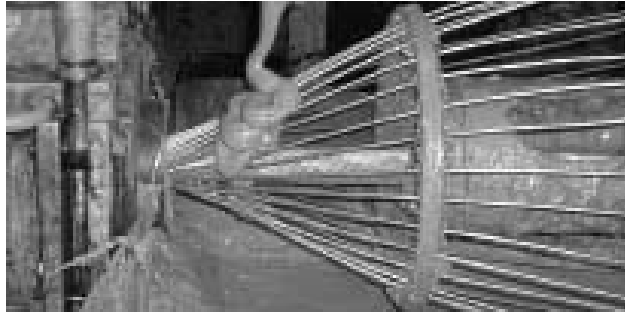


Рис. 2. Сучасний антикорозійний захист: а) оцинкування окремих дротів; б) нанесення антикорозійного покриття для внутрішніх слоїв канату під час звивки дротів в канат

Як приклад застосування ефективного антикорозійного покриття можна привести реконструкцію стадіону в місті Леверкузен (Німеччина) (рис. 3).



Рис. 3. Стадіон Бай – Арена, Леверкузен (Німеччина).

Покрівля якого є висячою системою з високоміцних канатів, для підвищення її зносостійкості застосували спеціально розроблене нове покриття на основі зшитої поліаспарагінової кислоти. Причому, якщо в звичайних металевих спорудах прийнято використовувати тришарову систему, то в цьому випадку верхнє покриття забезпечує велику товщину плівки, тому двох шарів цього покриття вистачає для забезпечення гідного захисту. Окрім цього новий антикорозійний склад екологічно безпечний, оскільки утримує на 40% менше органічних сполук, що швидше випаровуються, чим звичайна тришарова система, а значить, практично не завдає шкоди довкіллю.

Для пучків дроту і пасмових канатів виконують попереднє вирівнювання зовнішньої поверхні за допомогою мастики. Для збереження форми пучка і запобігання появі тріщин перед та в процесі фарбування накладають тканеві або дротяні бандажі. Зовнішній захист для пу-

чків і канатів виконується, як правило, товстошаровий і дозволяє без руйнування покриття деякі відносні зміщення дроту або усього каната в пучку, або окремого дроту в канаті. Можливі величини відносного зміщення елементів затягування визначаються з урахуванням способів виготовлення, транспортування і монтажу затягувань, а також роботою під навантаженням.

Затяжки мають бути стійкими до будь-яких погодних умов, не повинні тривалий час вимагати догляду. Їх покриття має бути відновлювальним механічно і повинне зберігати хороший антикорозійний захист.

Такі вимоги оптимально виконуються при застосуванні штучних матеріалів еластомерно-го характеру. Товщина шару від 2 мм і більш, тканеві прокладки для посилення стійкості проти дії світла, покривний шар на основі аліфатичного поліуретанового базису є характерною ознакою такого зовнішнього покриття, причому поліуретановий еластомер набув найбільшого поширення в Німеччині.

Антикорозійний захист на ділянках анкерівки і кріплення з'єднувальних елементів.

Анкери і з'єднувальні деталі служать для перерозподілу зусиль між елементами конструкцій, канати в них укладаються у відповідні пази і клеми, а в анкерах заливаються легкоплавкими металами. У всіх випадках саме в цих місцях затяжки найбільш напружені, і разом з напруженнями розтягу з'являється додаткова напруга від поперечного стиску і вигину. На цих ділянках необхідно звертати особливу увагу на антикорозійний захист.

Конструктивні рішення заздалегідь напружених і вантових систем можуть бути дуже різноманітні і тому запропонувати єдині методи захисту дуже складно, проте можуть бути сформульовані принципи підходу до забезпечення надійного антикорозійного захисту. Вони включають наступні рекомендації:

Вибір місця анкерівки і з'єднання.

Необхідно прагнути до того, щоб місця анкерівки або з'єднання розташовувалися в закритих, але провітрюваних приміщеннях. Розміщення в закритому коробчастому елементі мостової конструкції, пілони, камері бетонного фундаменту сприятливіше, ніж зовні. Корозійна дія може бути зменшена за допомогою застосування кожухів, рукавів.

Вибір матеріалів.

При виборі матеріалів необхідно застосовувати як можна менше різних металів. Якщо виконання цієї вимоги не можливе, то необхідно прагнути так комбінувати метали, щоб вони по електрохімічному ряду напружень були розташовані, як можна ближче один до одного. При цьому затяжка має бути "благородніше", ніж анкер і з'єднувальні елементи. Гаряче оцинкування елементів, що входять, дозволяє вирівняти електродний потенціал усіх складових.

Конструктивне оформлення.

Головними правилами конструктивного оформлення для виконання антикорозійного захисту є: забезпечення відносно невеликих плоских або округлих зовнішніх поверхонь; відсутність горизонтальних майданчиків, поглиблень, складок, гострих кінців; регульоване відведення води; можливість огляду усіх елементів і доступність до них. Антикорозійний захист здійснюється найчастіше шляхом поверхневого нанесення. На сьогодні для зовнішнього захисту канатів використовуються відносно товсті покриття. Бажаним є оцинкування поверхонь перед фарбуванням.

Разом з вказаними вище матеріалами для антикорозійного захисту використовуються різні тканини, спеціальні мастики, ін'єкції полімерних складів, манжети з гуми.

Висновки. Основні напрями розвитку в техніці і будівництві спрямовані на зниження витрати сировини, витрат енергії, вартості конструкцій в цілому і експлуатаційних витрат, а також на забезпечення захисту довкілля. Відмічені вище напрями розвитку можуть бути успішно реалізовані шляхом виконання наступних рекомендацій :

1. Антикорозійні заходи, що розробляються і використовуються, мають розраховуватись на довгострокову дію. Дорожчі, і довгострокові разові захисні заходи, як правило, значно вигідніше за тих, які дещо дешевше, але мають менший термін захисту. У практиці експлуата-

ції Західної Європи 20 років вважається терміном, протягом якого витрати на антикорозійний захист мають бути мінімальні.

2. Матеріали, які використовують для антикорозійного захисту, не повинні містити шкідливих для довкілля речовин, оскільки отруйні компоненти, і передусім важкі метали, що є складовою частиною пігментів, при розпаді покритті переходять у воду, ґрунт і атмосферу землі. Тому вимагається розробка нових активно діючих антикорозійних захисних засобів, які не шкідливі для довкілля або менш шкідливі, чим старі засоби.

3. Рекомендується велику частину робіт по антикорозійному захисту проводити в заводських умовах, оскільки там можна механізувати значний об'єм технологічних процесів і добре контролювати якість їх виконання.

4. Несучі конструкції у вигляді сталевих високоміцних канатів (вантів) є перспективними, оскільки вони дозволяють повністю використовувати несучу здатність високоміцних сталей, внаслідок чого мають малу власну вагу і порівняно низьку вартість.

5. Здійснення антикорозійного захисту канатів.

6. При проектуванні антикорозійного захисту високоміцних канатів необхідно враховувати оптимальне конструктивне оформлення їх з'єднань.

Список літератури

1. Зеленцов Д.Г. Обґрунтування вибору математичних моделей, які описують процес корозії під напругою в металевих елементах конструкцій / Д.Г. Зеленцов, Т.С. Казанцева // Вопросы химии и химической технологии. – 2003. – № 2. – С. 146–148.

2. Колесник І.А. Моделирование коррозійних процесов в стержнях при осевом растяжении и сжатии. / Колесник І.А., Зеленцов Д.Г., Храпач Ю.О. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Вип. 1(9) – Дніпропетровськ, 2000. – С. 49 - 55.

3. Долинский В.М. Расчёт элементов конструкций, подверженных равномерной коррозии / Долинский В.М. // Исследования по теории оболочек. – 1976. – № 7. – С. 37–42.

4. Овчинников И.Г. Моделирование кинетики коррозии металлоконструкций с использованием банка математических моделей коррозии / И.Г. Овчинников, Н.Б. Кудайбергенов, М.С. Дворкин // Проблемы повышения надежности и долговечности конструкций зданий и сооружений: сб. трудов. – Шымкент: КазХТИ. – 1993. – С. 9–25.