



ДОВІДНИК З КОРОЗІЇ

06/2021

ПЕРЕДМОВА

Корозія — повсюдний природний процес. Більшість із нас у певний момент повсякденного життя стикається з тим, як корозія впливає на іржаві сталеві деталі. Корозія має значний економічний вплив: близько п'ятої частини світового річного виробництва сталі фактично йде на заміну елементів, ушкоджених корозією. Попри можливі вищі початкові витрати, правильний і ефективний захист від корозії на старті допомагає заощаджувати кошти та ресурси в довгостроковій перспективі. Для систем кріплення це особливо важливо, адже безпека є ключовою. Відмова через корозію може мати тяжкі наслідки.

Мета цього довідника — підвищити загальне розуміння того, що таке корозія. Він надає необхідну інформацію про корозію та поведінку матеріалів, які застосовують для захисту наших виробів від неї.

Hilti проводить комплексні лабораторні й натурні випробування для оцінювання корозійної стійкості своїх продуктів. Деякі довгострокові випробування розпочато ще в 1980-х роках і вони тривають досі. Завдяки власним дослідженням і тісній співпраці з провідними університетами та лабораторіями Hilti може допомогти підібрати правильні рішення з найвідповіднішим захистом від корозії для широкого спектра умов довкілля.

Водночас вибір матеріалу або методу захисту від корозії для конкретного застосування залишається відповідальністю користувача. Ваш локальний контакт Hilti із задоволенням надасть подальшу допомогу. За потреби він/вона зможе звернутися по підтримку до фахівців нашого підрозділу Corporate Research & Technology, що дозволить вам скористатися наявними глибокими знаннями.

4	1	Основи корозії
4	1.1	Що таке корозія?
6	1.2	Форми корозії
6	1.2.1	Рівномірна корозія / мілкоямкова корозія
7	1.2.2	Точкова корозія
8	1.2.3	Щілинна корозія
9	1.2.4	Розтріскування, викликане середовищем
11	1.2.5	Міжкристалічна (міжзерниста) корозія
12	1.2.6	Гальванічна (контактна) корозія
13	2	Оцінювання корозійної стійкості Hilti та методи кваліфікації продукції
13	2.1	Мета корозійних випробувань
14	2.2	Лабораторна база / випробування
17	2.3	Польові випробування на відкритому повітрі
19	3	Рішення Hilti щодо захисту від корозії
20	3.1	Корозія та захист від корозії вуглецевої сталі
22	3.2	Корозійна поведінка нержавіючої сталі
26	3.3	Запобігання гальванічній корозії
28	4	Як оцінити корозію в конкретному середовищі та застосуванні
28	4.1	Чинники, що впливають на атмосферну корозію
30	4.2	Оцінка корозійної активності для виробів з цинковим і ZM покриттям
32	4.3	Оцінка корозійної активності для виробів з нержавіючої сталі
34	5	Як обрати відповідний кріпильний елемент та монтажну систему
37	5.1	Вибір належного захисту від корозії для анкерів, монтажних пістолетів та шурупів
38	5.2	Вибір відповідної монтажної системи
39	6	Бібліографія
40	7	Застереження

1 ОСНОВИ КОРОЗІЇ

1.1 Що таке корозія?

Корозія — це фізико-хімічна взаємодія між металом і його довкіллям, унаслідок якої змінюються властивості металу та що може призводити до істотного функціонального порушення роботи самого металу, довкілля або технічної системи, частиною якої вони є (див. ISO 8044:2010).

Про корозію йдеться тоді, коли відбувається зміна властивостей металу або системи, що може спричинити небажаний результат. Це може варіюватися від простих косметичних пошкоджень до повної відмови технічних систем, що потенційно призводить до значних економічних збитків і навіть становить небезпеку для людей.

Поширені в будівництві та машинобудуванні метали — такі як сталь, алюміній і цинк — мають тенденцію повертатися до свого первісного стану, притаманного природі. Тому корозію можна розглядати як «зворотний процес видобутку металу». Рис. 1 ілюструє, як це виглядає на прикладі отримання заліза з залізної руди.



Рис. 1: Хімічні реакції заліза під час корозії та процесу добування металу.

Типи корозійних реакцій

Найпоширенішим типом корозійної реакції є електрохімічна. Такі реакції передбачають перенесення електронів від металу через середовище, здатне проводити йони (наприклад, плівку води на поверхні). У рідкісніших випадках корозійні процеси можуть бути суто хімічними — як-от взаємодія металевої поверхні з гарячими газами або розплавленими солями.

Загальну електрохімічну корозійну реакцію можна розкласти на дві часткові реакції:

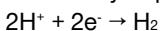
- Розчинення металу (також відоме як окиснення або анодна реакція):

$$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^-$$
- Відновлення (катодна реакція).
 У нейтральному середовищі за достатнього надходження кисню катодна реакція має вигляд:

$$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$$

Це — найважливіша катодна реакція, яку слід враховувати для наших деталей у типових умовах довкілля (так звана атмосферна корозія).

У кислому середовищі та за нестачі кисню можлива така реакція:



Хоча ця часткова реакція трапляється в атмосферних умовах значно рідше, ніж відновлення кисню, її необхідно враховувати, оскільки утворення водню може призводити до водневого охрупчення відповідних металів (див. розділ про форми корозії).

Ці дві часткові реакції можуть відбуватися на поверхні металу досить рівномірно, що призводить до рівномірного ураження (див. розділ 1.2.1). Або вони можуть виникати локально й окремо, спричиняючи локальні форми корозії, зокрема пітингову.

Механізм та електрохімічна природа корозійної реакції визначають необхідні умови для атмосферної корозії:

- провідний метал
- електроліт (навіть тонкої, невидимої плівки вологи на поверхні достатньо)
- кисень для катодної реакції

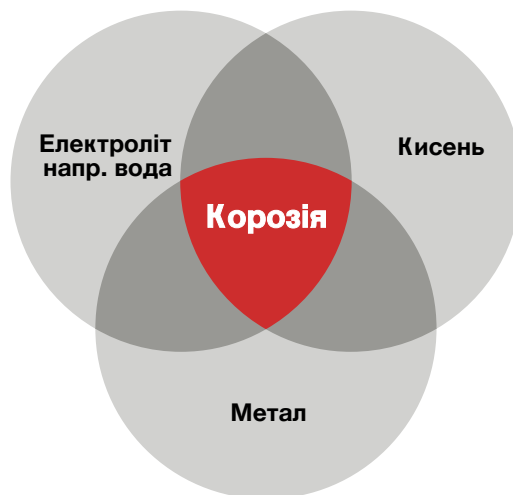


Рис. 2: Умови для атмосферної корозійної реакції.

Ілюстрація на рис. 2 показує базовий механізм корозії заліза під краплею води. Розчинення металу та відновлення кисню відбуваються з невеликим розділенням ділянок на поверхні, тоді як їхні продукти (іони Fe^{2+} та OH^-) реагують у краплі води з утворенням оксиду заліза (червоної іржі).

Загалом та сама схема застосовна до інших металів, зокрема цинку або алюмінію, але з дещо відмінними хімічними реакціями в електроліті.

Завдяки простій моделі корозійної реакції, показаній на рис. 3, можна пояснити багато форм корозії та визначити заходи для її зменшення. Послаблюючи ці часткові реакції, ми знижуємо загальну швидкість корозії.

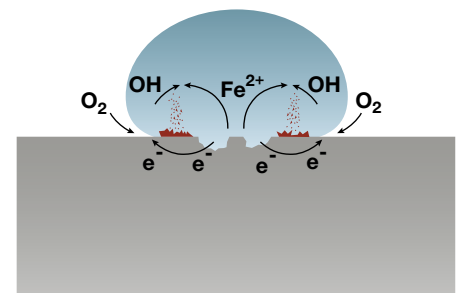


Рис. 3: Корозія заліза під краплею води; показано розчинення металу, відновлення кисню та утворення іржі.

1.2 Форми корозії

1.2.1 Рівномірна корозія / мілкоямкова корозія

Рівномірна корозія майже однаково знімає шар металу по всій поверхні. Часткові реакції (розчинення металу та відновлення кисню) статистично розподіляються по поверхні, що веде до загалом однорідного розчинення металу та рівномірного утворення продуктів корозії (напр., червоної іржі на сталі). Масштаб цієї форми зазвичай добре оцінюють на основі досвіду. Швидкість корозії зазвичай задають у мкм/рік (мкм/а). Використовуючи середні значення, можна оцінити ресурс елемента і збільшити його, підвищивши товщину. Незахищена вуглецева сталь і сталь із цинковим покриттям зазвичай демонструють рівномірну або мілкоямкову корозію в умовах відкритого повітря.

На практиці повністю однорідне ураження трапляється рідко. На складних деталях завжди є ділянки, що кородують швидше, ніж інші. У результаті поверхня стає більш-менш шорсткою з нерівномірним шаром продуктів корозії (див. рис. 4).



Рис. 4: Корозія сталевих елементів.

1.2.2 Точкова корозія

Точкова корозія — локальна форма корозії, що призводить до утворення дрібних отворів («раковин») у металі (див. рис. 5). Вона характерна насамперед для пасивних металів. Пасивні метали й сплави — наприклад, алюміній, титан і нержавіючі сталі — завдячують корозійною стійкістю тонкому оксидному шару завтовшки лише кілька нанометрів. Процес починається з локального руйнування пасивного шару. На нержавіючих сталях локальне ураження можуть ініціювати, зокрема, хлорид-іони

Рис. 6 показує основні фази цього явища на нержавіючій сталі. Точкова корозія може бути проблемною: якщо рівномірну корозію видно одразу, то точкова корозія часто виглядає як дрібні «точки». Обсяг матеріалу, втрачений під цими «точками», зазвичай невідомий, адже утворюються приховані порожнини. Тому таку корозію складно виявити й прогнозувати. Технічно надійного способу контролю точкової корозії немає, тож її слід запобігати на етапі проектування — через правильний добір матеріалів, інженерні рішення та контроль якості.

Крім того, точкова корозія часто може бути відправною точкою для більш серйозних форм корозії, таких як корозійне розтріскування під напругою (див. розділ «Корозійне розтріскування під напругою (SCC)».



Рис. 5: Приклад точкової корозії на виробі з нержавіючої сталі.

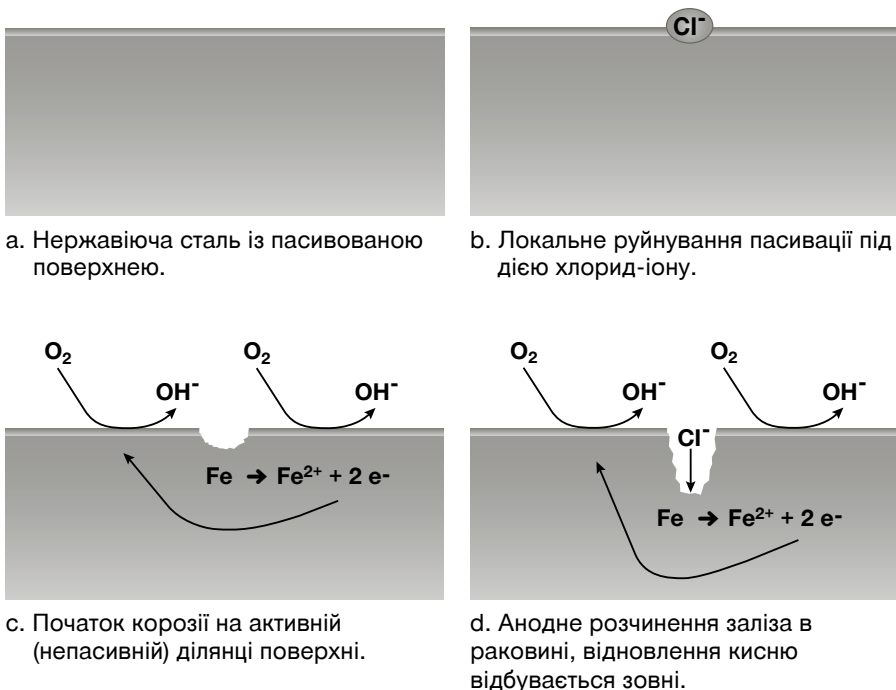


Рис. 6: Фази точкової корозії на нержавіючій сталі.

1.2.3 Щілинна корозія

Щілинна корозія — це корозія, що виникає у тріщинах або щілинах між двома поверхнями (із того самого металу, з різних металів або між металом і неметалом). Вона ініціюється обмеженим доступом кисню з повітря. Кисень погано проникає в зону щілини, тому катодна часткова реакція (див. 1.1) відбувається переважно поза щілиною. Сама щілина стає анодом — тобто переважною ділянкою розчинення металу (див. рис. 7).

Щілинна корозія також може виникати під шайбами чи прокладками, якщо підтікання води знизу не усунуто (див. рис. 7).

Існують нижня й верхня межі ширини щілини, за яких корозія можлива. Якщо щілина надто вузька — електроліт туди не потрапляє. Якщо надто широка — не формується осередок аерації й не виникає різниці в концентрації кисню. Критична ширина залежить від кількох чинників: типів металів, корозійного середовища та циклів «зволоження/висихання».

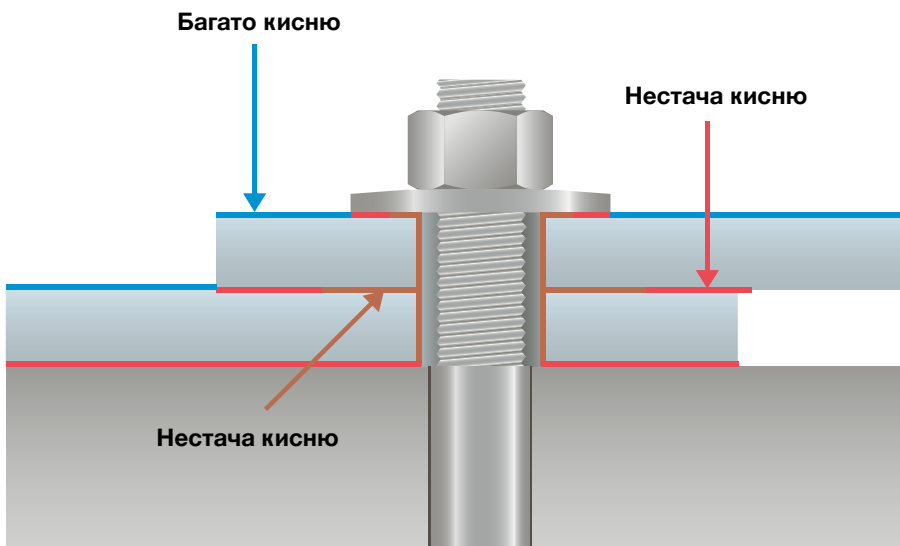


Рис. 7: Можливі зони щілинної корозії у вузлі кріплення.

1.2.4 Розтріскування, індуковане середовищем

Корозійне розтріскування під напруженням (SCC)

SCC — це поєднаний механічний та електрохімічний корозійний процес, що призводить до утворення тріщин у певних матеріалах. Він може спричинити несподіване раптове крихке руйнування зазвичай пластичних металів, що перебувають під дією напруги, значно нижчої за межу їх текучості. Напруження в матеріалі можуть бути прикладеними (зовнішніми) або залишковими (внутрішніми) — і цього достатньо, щоб ініціювати SCC.

SCC — не просто накладання корозії та механічних напружень. Це автокаталітичний, самоприскорюваний процес із високою швидкістю анодного розчинення. Спершу виникає малий «піт»; під дією прикладених або залишкових напружень він перероджується у тріщину. Тріщина відкриває нову активну (непасивну) металеву поверхню, яка легко кородує. Це веде до подальшого розростання тріщини та повторного оголення нових високореакційних поверхонь усередині тріщини. Розчинення металу в зоні тріщини швидко прогресує, доки не настає механічна відмова.

SCC виникає лише за одночасної наявності трьох умов (див. рис. 9):

- Матеріал (напр., загалом леговані метали)
- Напруження (прикладені або залишкові)
- Агресивне середовище



Рис. 9: Фактори, необхідні для виникнення корозійного розтріскування під напругою.

Добре відомо, що окремі марки аустенітних нержавіючих сталей можуть зазнавати SCC у жорстких умовах, зокрема в приміщеннях критих басейнів. У більшості випадків корозія ініціюється хлоридами, які руйнують пасивний шар.

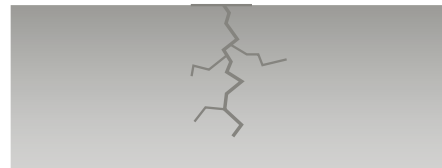


Рис. 8: SCC на кронштейні з матеріалу 1.4301 (A2, 304) після прибіл. 4 років експлуатації у критому басейні.

Воднево-індуковане розтріскування

Воднево-індуковане розтріскування спричинене дифузією атомів водню в метал. Водень у кристалічній ґратці послаблює механічну цілісність металу та викликає ріст тріщин і крихке руйнування за напружень нижче від межі плинності. Як і SCC, це може призводити до раптової відмови металевих деталей без видимих попереджувальних ознак. У типових застосуваннях водневе пошкодження зазвичай актуальне для високоміцних, зміцнених сталей.

Як і для SCC, необхідні три умови одночасно (див. рис. 10):

- Матеріал (напр., високоміцні, загартовані сталі);
- Напруження (прикладені або залишкові);
- Джерело водню



Рис. 10: Фактори, необхідні для виникнення водневого розтріскування.

Джерелом водню може бути виробничий процес, такий як виготовлення сталі, травлення та електрогальванічне цинкування (первинне водневе розтріскування). Вторинним джерелом може бути водень, що утворюється під час корозійного процесу в умовах експлуатації, який потім дифундує в матеріал (вторинне водневе розтріскування). Під час процесу корозії утворюється водень, який дифундує в матеріал. Цей приплив водню призводить до зниження в'язкості або пластичності металу.

1.2.5 Міжкристалічна (міжзерниста) корозія

Міжкристалічна корозія — це локалізована форма, за якої ураження поширюється відносно вузькими шляхами, переважно вздовж меж зерен у металевій структурі. Найпоширеніший наслідок — швидка механічна деградація матеріалу (втрата пластичності). Зазвичай її можна запобігти правильним добором матеріалу та технології виготовлення.

Відомий для будівництва приклад — сенсibilізація нержавіючої сталі. Якщо окремі марки цього матеріалу певний час утримуються в діапазоні температур 500 °C... 800 °C (наприклад, під час зварювання), формуються карбіди, збагачені хромом. Це призводить до збіднення хромом на межах зерен. Унаслідок цього межі зерен мають нижчу корозійну стійкість, ніж основний матеріал, що зумовлює локальне корозійне ураження (див. рис. 11).

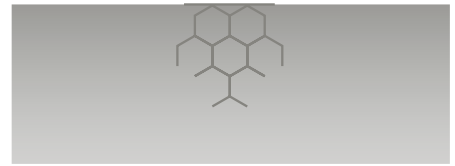


Рис. 11: Зображення зі сканувального електронного мікроскопа — вибіркове ураження в зоні зварного шва матеріалу 1.4401 (A4, 316).

1.2.6 Гальванічна (контактна) корозія

Гальванічна корозія — це пошкодження, що виникає між двома різнорідними металами, які мають електропровідний контакт і одночасно дотикаються до спільного електроліту (напр., води в повітрі). В електрохімічній моделі корозії одна з двох часткових реакцій — анодне розчинення металу або катодне відновлення кисню — відбувається майже виключно на одному з металів.

Загалом менш благородний метал розчиняється (анодне розчинення). Більш благородний метал корозією не уражається — він виконує роль катода для відновлення кисню. Там, де діє гальванічна корозія, швидкість корозії менш благородного металу вища, ніж у вільному корозійному середовищі без контакту з іншим металом.

Використовуючи термодинамічні дані та практичний досвід типових застосувань, можна передбачити, які поєднання матеріалів будуть схильні до гальванічної корозії (див. розділ 3.3). Позитивне застосування цього явища — жертвний захист: цинк або цинкові сплави, такі як Zinc Magnesium (ZM), є менш благородними металами й активно захищають вуглецеві та низьколеговані сталі, кородуючи самі (див. рис. 12).

Більш благородний

Менш благородний



Рис. 12: Типовий випадок контактної корозії. Використано цинковану (електрооцинковану) сталеву шайбу та нержавіючу сталь (гвинт і деталь). Площа поверхні більш благородного металу — нержавіючої сталі — є більшою, через що інтенсивно кородує шайба.

2 ОЦІНЮВАННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ HILTI ТА МЕТОДИ КВАЛІФІКАЦІЇ ПРОДУКЦІЇ

Hilti виконує комплексні лабораторні та натурні корозійні випробування, щоб оцінити захист своїх виробів від корозії. Завдяки власним дослідженням Hilti має широкий набір перевірених рішень захисту для різних умов довкілля.

Багато методів перевірки корозійної стійкості є специфічними для певних матеріалів і ґрунтуються на умовах, що панують у конкретних середовищах. На поведінку корозії впливають численні чинники, тому універсального випробування, яке охоплювало б усі аспекти матеріалів, не існує. Найнадійніший індикатор — історія експлуатації, але потрібні дані не завжди доступні. Захист кріплень Hilti також перевіряють на етапі монтажу в сталь або бетон, моделюючи можливі пошкодження під час встановлення. Корозійні тести — доречний інструмент для оцінювання нових продуктів і порівняння їх із відомими системами захисту. Однак самих тестів замало, щоб кваліфікувати продукт для конкретного застосування, адже корозійність середовища може суттєво різнитися від проєкту до проєкту. Остаточна відповідальність за вибір належного захисту від корозії лежить на користувачеві — на основі детальної інформації про застосування, довгострокового досвіду та базових знань із теми.

2.1 Мета корозійних випробувань

Прискорені лабораторні випробування — це сучасний рівень оцінювання характеристик матеріалів: вони стандартизовані, відтворювані та дають змогу робити висновки за короткий час (дні/тижні). Одне з головних їхніх застосувань — контроль якості захисних покриттів від корозії: щоб пройти контроль, вироби мають виконати вимоги до показників (напр., «два дні без появи червоної іржі»).

Крім того, такі випробування дуже корисні у розробленні продуктів: для скринінгу та класифікації нових покриттів і матеріалів для нових виробів.

2.2 Лабораторна база / випробування

У власних дослідницьких лабораторіях Hilti виконує найрелевантніші корозійні випробування для наших продуктів (див. рис. 13).

Випробування в нейтральному соляному тумані: EN ISO 9227, ASTM B117

Випробування в соляному тумані є одним із найстаріших і найбільш поширених прискорених тестів на корозію. Зразки постійно піддаються впливу соляного туману, виготовленого з п'ятивідсоткового розчину хлориду натрію. Випробування в соляному тумані не є прямо репрезентативним для захисту від корозії в реальних атмосферних умовах через високу концентрацію хлоридів і відсутність сухих періодів. Однак це практичний тест, який в основному використовується для кваліфікації процесу та приймального контролю якості. Hilti використовує випробування в соляному тумані для перевірки однорідності цинкових покриттів на кріпильних елементах як контроль якості у виробництві (див. мал. 15 і мал. 14).

Цинкові сплави, такі як ZM та ZnNi, показують значно кращі результати при випробуванні в нейтральному соляному тумані.

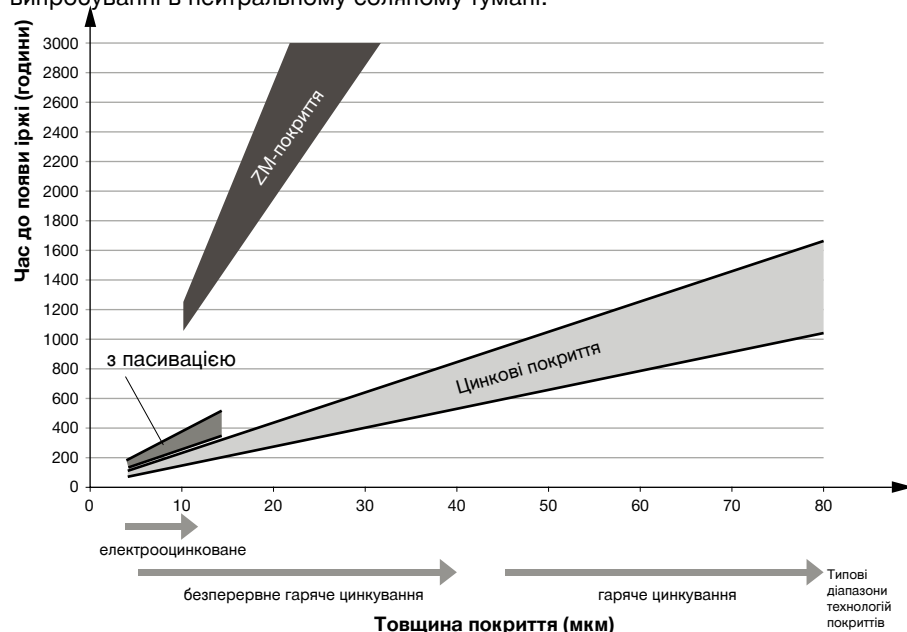


Рис. 15: Типовий час до першої появи «червоної іржі» (корозії сталевісної основи) в соляному тумані для виробів із цинковим та ZM-покриттям за різної товщини покриття.



Рис. 13: Фото нашої корозійної лабораторії з різними камерами для випробувань.



Рис. 14: Електрооцинковані гвинти з ~5 мкм цинкового покриття після 48 год (угорі) та 96 год (унизу) випробування в соляному тумані.

Випробування на циклічну корозію: EN ISO 16701

У тесті EN ISO 16701 змінюють температуру та відносну вологість, щоб змодельовати типові цикли «зволоження/висихання», подібні до природних зовнішніх умов. Додатково зразки двічі на тиждень зрошують розбавленим розчином хлориду натрію (1 %). Хоч цей тест і не є прямою моделлю більшості реальних атмосфер (через циклічність «моро/сухо» та нижчу концентрацію хлоридів), він значно краще ініціює природні корозійні процеси, ніж сольовий туман. Недолік — довший час випробування (кілька тижнів) (див. рис. 16 і рис. 17).

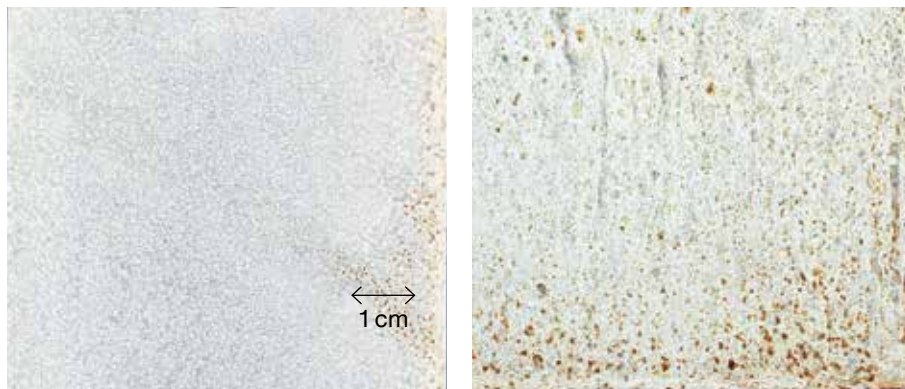


Рис. 17: Сталь із цинковим покриттям (гаряче цинкування, HDG) через один рік у тропічному прибережному кліматі (ліворуч) і після 12 тижнів у тесті EN ISO 16701 (праворуч). Подібну корозійну поведінку спостерігали у натурному та циклічному тестах.

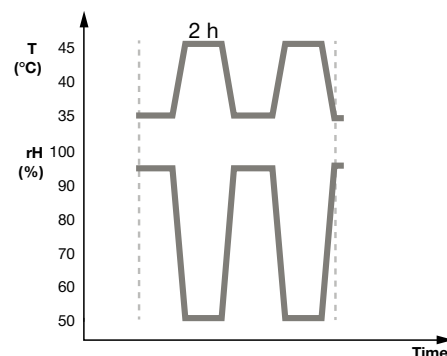


Рис. 16: Добовий цикл температури та вологості в тесті EN ISO 16701. Двічі на тиждень зразки зрошують 1 % розчином NaCl протягом 3 × 15 хв.

Випробування на циклічну корозію з УФ-опроміненням: ISO 20340, подібно до ASTM D5894

Цей тест додатково піддає зразки дії високоефективного ультрафіолетового випромінювання. Він поєднується з конденсацією води, впливом хлоридів і циклом заморожування (див. рис. 18). Органічні полімери — фарби, лаки — можуть деградувати під дією сонячного світла, тому цей тест переважно застосовують для виробів з органічними покриттями (див. рис. 19). Окрім корозійних випробувань, його використовують для оцінювання старіння УФ-чутливих виробів, зокрема пластикових деталей.

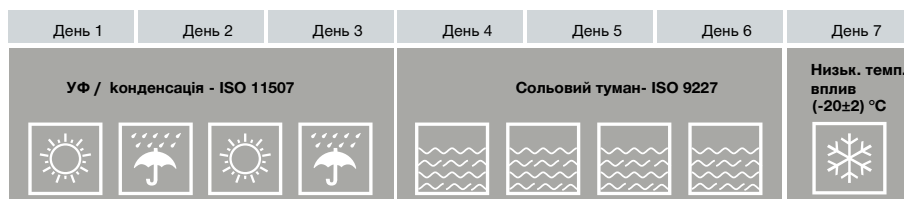


Рис. 18: Процедура циклічного тесту з УФ-опроміненням, сольовим туманом і циклом заморожування за ISO 20340.



Рис. 19: Деталь з'єднувача з багатошаровим покриттям (верхній шар — органічні «пластівці») після 10 тижнів тесту ISO 20340 з УФ-опроміненням.

Випробування на вологість: EN ISO 6270 / ASTM D2247, а також із діоксидом сірки (EN ISO 6988, ASTM G87)

У випробуванні на вологість зразки піддають дії атмосфери з 100 % відотною вологістю. Тест можна поєднати з додаванням певної кількості діоксиду сірки. Це створює висококорозійне та кисле середовище, яке імітує вплив інтенсивного промислового забруднення (див. рис. 20).

Електрохімія

Електрохімічна природа корозійного процесу робить електрохімічні методи корисними для дослідження реакцій корозії окремих матеріалів. Окрім прискорених корозійних тестів, наша лабораторія оснащена електрохімічним стендом (потенціостатом), який застосовують головню для вивчення пітингової корозії та повторної пасивації нержавіючої сталі.

Металографічна лабораторія

Прискорені корозійні випробування та натурні експозиції завжди мають підтримуватися аналітичними методами для коректної інтерпретації результатів. У металографічній лабораторії ми використовуємо сучасний сканувальний електронний мікроскоп (SEM) з елементним аналізом для поглиблених досліджень наших виробів (див. рис. 21, 22, 23).

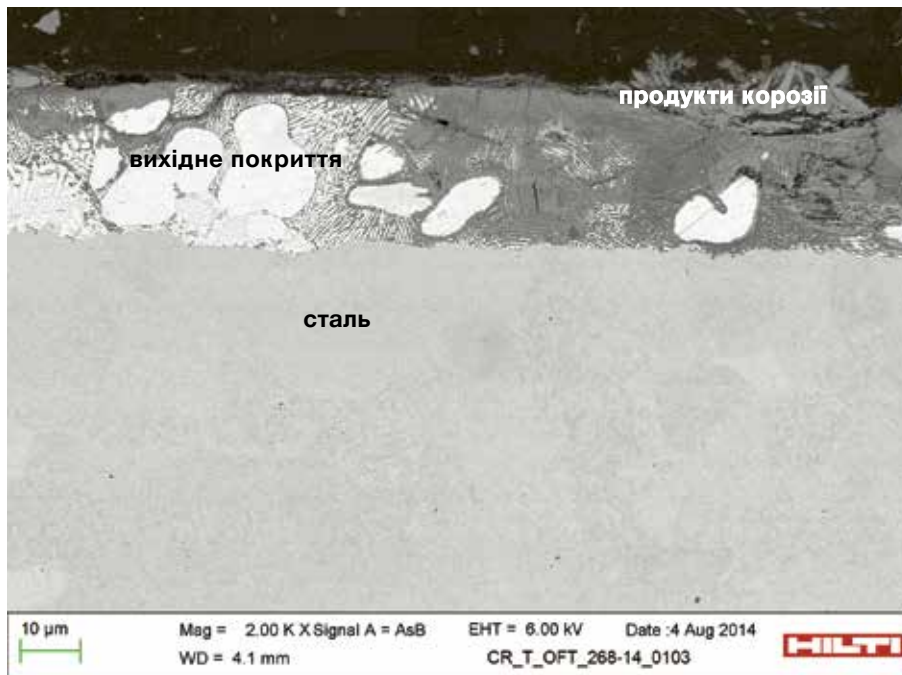


Рис. 22: Металографічний поперечний переріз покриття ZM, зроблений у сканувальному електронному мікроскопі, після трьох років перебування в прибережному кліматі. Стабільні продукти корозії допомагають захистити шар від подальшого ураження.



Рис. 20: Гвинти з високо корозійностійким багатшаровим покриттям після 15 циклів випробування з діоксидом сірки (корозії не виявлено).



Рис. 21: Сканувальний електронний мікроскоп (SEM).



Рис. 23: Обладнання металографічної лабораторії (шліфування та полірування).

2.3 Польові випробування на відкритому повітрі

Найточніше оцінити захист від корозії можна за результатами експозиційних випробувань зразків і виробів у реальних атмосферних умовах. Для цього Hilti проводить кілька постійних польових тестів своїх продуктів у різних точках світу — від холодного помірнього до тропічного клімату, та від прибережних до індустріальних і навіть офшорних атмосфер (див. рис. 24).

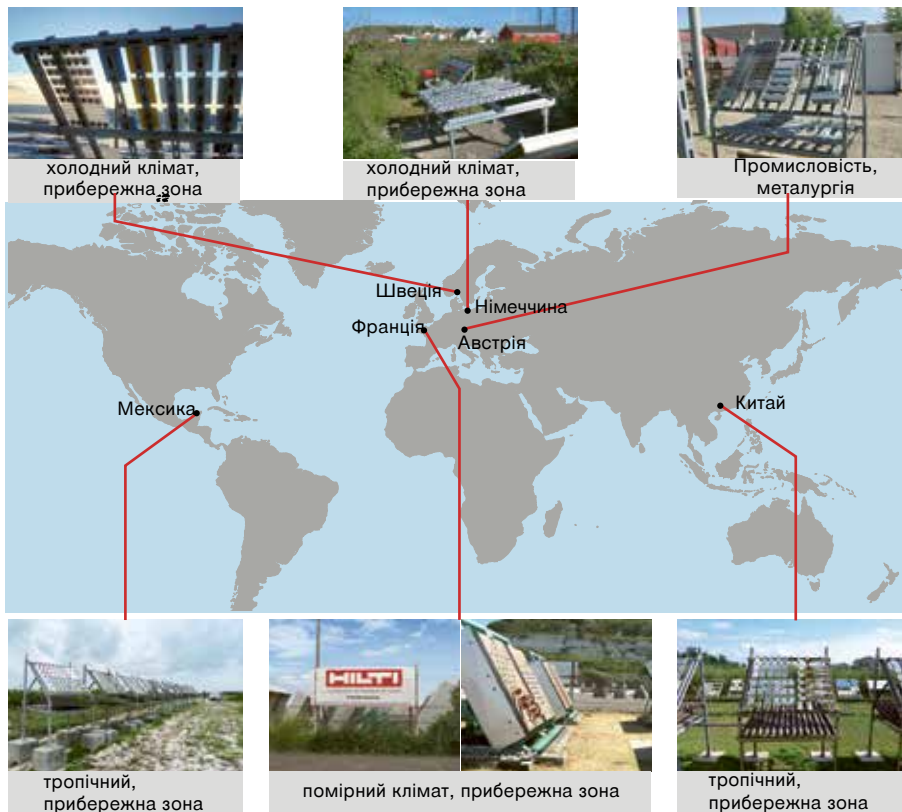


Рис. 24: Карта розташування польових полігонів для випробувань продукції Hilti.

Hilti експлуатує полігон поблизу Гавра на узбережжі Атлантики у Франції з 1980-х років. Тут ми перевіряємо не лише корозійну поведінку кріпильних виробів, а й їхню довгострокову працездатність. Кріпильні елементи, особливо анкери, встановлюють у бетон. Через певні проміжки часу залишкові несучі значення визначають у випробуваннях на виривання (див. рис. 25).

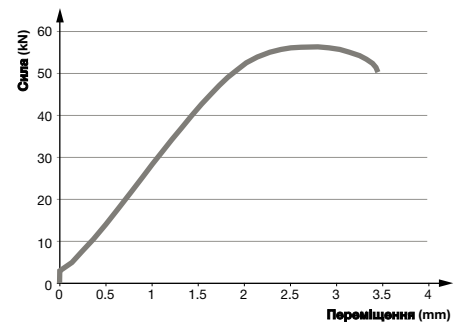


Рис. 25: Типовий результат вимірювання «сила-переміщення» для встановленого анкера після 16 років перебування в прибережній середовищі.

З початку 1980-х до 2005 року Hilti виконала масштабні дослідження корозійної поведінки різних матеріалів у дорожніх тунелях Альпійського регіону. Довгострокові спостереження дозволили підвищити ефективність наших виробів у цих висококорозійних умовах і постачати клієнтам більш результативні системи кріплення для таких середовищ. Високолегована нержавіюча сталь 1.4529 (HCR) виявилася матеріалом, що практично не демонструє ознак корозії. Результати досліджень також вплинули на стандарти й правила застосування продукції та кріплень із нержавіючої сталі для тунельних проєктів (див. рис. 26).

Наші кріпильні та монтажні вироби — не єдині, що проходять ретельні випробування. Електроінструменти Hilti також проходять численні функціональні тести в поєднанні з типовими корозійними впливами. Завдяки цьому інструмент забезпечує високу продуктивність навіть у складних умовах (див. рис. 27).



Рис. 26: Дорожні тунелі — дуже агресивне середовище (протиожедні солі та вихлопні гази)



Рис. 27: Кріпильний інструмент у камері вологості.

3 РІШЕННЯ HILTI ЩОДО ЗАХИСТУ ВІД КОРОЗІЇ

У цьому розділі описано рішення захисту від корозії, що застосовують до виробів Hilti, їхню типову корозійну поведінку та придатність для окремих застосувань.

Класифікація заходів захисту від корозії



Нижче подано огляд покриттів, які застосовують до виробів Hilti.

Рішення Hilti для вуглецевої сталі	Товщина покриття	Приклади виробів
Фосфатування		Гвинти
Електрооцинкування Zn і ZnNi	5–20 мкм	Цвяхи, анкери, гвинти
Гаряче цинкування	35–100 мкм	Монтажні канали
Гаряче цинкування (Zn) та ZM-покриття	20–40 мкм	Анкери-стержні, монтажні канали
Шерардування / термодифузійне	до 45 мкм	Анкери
Багатошарове (Zn + додаткове органічне покриття — фарбування)		Анкери та монтажні елементи

Таблиця 1 — Покриття для захисту від корозії, що застосовуються до продукції Hilti

3.1 Корозія та захист від корозії вуглецевої сталі

Нелегована сталь (тобто м'яка/вуглецева), з якої виготовлено більшість наших кріпильних і монтажних виробів, потребує захисту від корозії. У більшості середовищ швидкість корозії вуглецевої сталі (типово близько 20 мкм/рік у сільській зовнішній атмосфері і понад 100 мкм/рік у прибережних) зазвичай надто висока для задовільної роботи на відкритому повітрі. Конструкція виробу зазвичай не закладає втрату матеріалу. Тому Hilti пропонує широкий вибір придатних і економічних рішень захисту від корозії для виробів із вуглецевої сталі.

У лужному середовищі — наприклад, під шаром бетону — залізо й сталь зазвичай залишаються стабільними. Тому, зокрема, арматура з вуглецевої сталі добре захищена від корозії в лужному середовищі навколишнього бетону.

Фосфатування

Опис процесу	Сталь занурюють у кислий розчин із солями фосфатів металів (Zn, Fe). Розчин реагує з поверхнею сталі, утворюючи на ній мікрокристалічний шар фосфатів (див. рис. 28). Поверхня стає шорсткою з відмінною здатністю утримувати оливу.
Корозійна поведінка та додаткова інформація	Захисна олива наноситься так, щоб довго залишатися на поверхні під час транспортування та забезпечувати дещо підвищений загальний захист. Такі вироби допускається застосовувати лише у сухих внутрішніх умовах. Hilti використовує фосфатування для гвинтів по гіпсокартону.

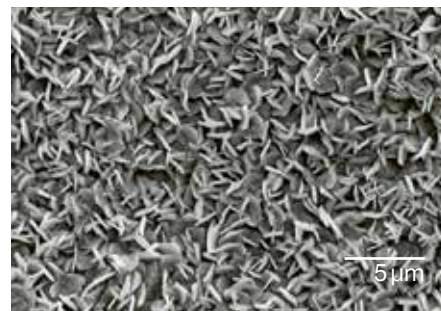


Рис. 28: Кристали фосфатів на сталевій поверхні при збільшенні 3000× у сканувальному електронному мікроскопі.

Цинкові покриття та покриття зі сплавів Zn

Цинк — відмінний вибір для захисту вуглецевої сталі. Для нанесення цинку на сталеві деталі існує кілька придатних процесів — від дрібних гвинтів до монтажних каналів завдовжки кілька метрів.

Швидкість корозії цинку більш ніж у десять разів менша, ніж у сталі: приблизно 0,5...1 мкм/рік у сільській/міській атмосфері та до ~5 мкм/рік у прибережній. Сплавні цинкові покриття, як-от електроосаджений ZnNi або безперервно гарячецинковане ZM, мають суттєво знижену швидкість корозії — у багатьох випадках лише близько половини від швидкості чистого цинку. Рис. 29 подає огляд типової довговічності сталі з цинковим і ZM-покриттям за різних умов. Низькі швидкості зумовлені утворенням стабільних шарів продуктів корозії, що містять карбонати (із CO₂ у повітрі) та хлориди (якщо вони присутні). Коли формування таких нерозчинних продуктів неможливе, швидкість корозії різко зростає, і придатність цинку як захисту обмежується. До таких умов належать постійно вологе середовище або вплив високих концентрацій промислових забруднювачів, як-от діоксиду сірки. Тут переважно утворюються розчинні продукти корозії, які змиваються опадами.

Окрім зменшення швидкості корозії, цинк забезпечує катодний (жертвний) захист сталі-основи. Якщо подряпини чи відкол покриття оголюють сталь, виникає особлива форма гальванічної корозії (див. 1.2.6): цинк як менш благородний метал кородує першим, допомагаючи захистити оголену сталеву поверхню.

Під час атмосферної корозії цинкові покриття зношуються доволі рівномірно. Тому подвоєння товщини зазвичай подвоює час до повного спрацювання цинку і появи «червоної іржі» на сталевій основі. У лужних середовищах цинк нестійкий і легко уражається розчинами з pH ≥ 10. Так само на майданчику потрібно уникати потрапляння агресивних будматеріалів на вироби з цинку (напр., цемент чи свіжий бетон).

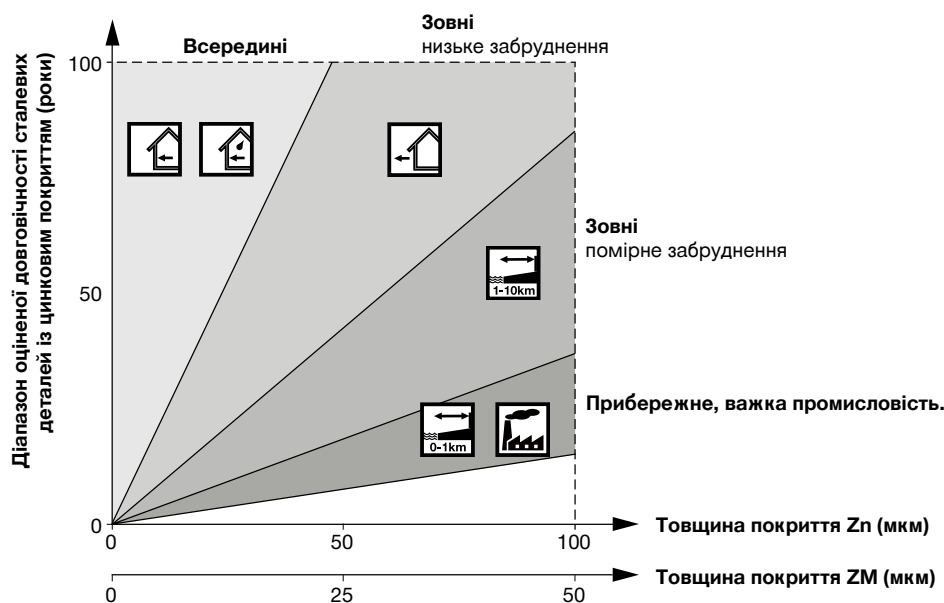


Рис. 29: Типова довговічність сталі з покриттям Zn і ZM у різних середовищах.

Електрооцинкування

Опис процесу	Електричний струм пропускається через водний розчин, що містить іони цинку, що призводить до осадження цинкового металу на сталевій основі. Перед цим етапом деталі зазвичай проходять процес очищення та травлення з подальшою пасивацією. Це чудовий спосіб захисту невеликих різбових деталей завдяки утворенню однорідних і щільних покриттів.
Товщина покриття	5–15 мкм
Корозійна поведінка та додаткова інформація	Через обмеження товщини покриття електрооцинковані деталі без додаткового захисту слід застосовувати лише в сухих внутрішніх умовах. За допомогою електролізу також можна осаджувати цинкові сплави, такі як ZnNi. Електрогальванічне цинкування може призвести до поглинання водню. Тому високоміцні кріпильні елементи Hilti, такі як цвяхи для прямого монтажу, після електролізу піддаються відпалу (витримуються при температурі близько 180°C протягом 24 годин) для видалення водню.

Гаряче цинкування

Опис процесу	Під час цього процесу сталеві деталі занурюють у ванну з розплавленим цинком. За допомогою цієї техніки можна покривати великі деталі розміром у кілька метрів. Маленькі деталі, такі як болти та анкери, центрифугуються після гарячого цинкування, щоб видалити надлишки цинку з різьби.
Товщина покриття	Типова товщина становить від 35 до 100 мкм, залежно від товщини матеріалу та складу сталі. Тривалість занурення зазвичай становить кілька хвилин.
Корозійна поведінка та додаткова інформація	Розплав цинку реагує з основою, утворюючи шар сплаву ZnFe, а зверху формується тонкий шар чистішого Zn (див. рис. 30). Покриття може набувати бурого відтінку через Fe у шарі цинку — це не обов'язково ознака корозії сталеві основи (див. рис. 31). Гаряче цинкування застосовується для деяких зовнішніх середовищ, залежно від товщини цинкового покриття та умов експлуатації.

Безперервне гаряче цинкування / Цинкування за методом Зендзіміра

Опис процесу	Під час цього процесу листовий метал з рулонів безперервно протягується через ванну з розплавленим цинком після того, як поверхня була очищена та піддана процесу відпалу (термообробка). Цинкова ванна містить невелику кількість Al. Al реагує з поверхнею сталі, створюючи інгібіторний шар товщиною в кілька нанометрів, який запобігає утворенню фаз ZnFe. Покриття складається переважно з чистого цинку.
Товщина покриття	Може варіюватися від 10 до 70 мкм з обох боків і контролюється видаленням надлишків цинку струменем повітря.
Корозійна поведінка та додаткова інформація	Крім чистого Zn, за допомогою безперервного гарячого цинкування також можуть бути виготовлені покриття, що складаються зі сплавів цинку, таких як ZM. Типові покриття містять близько 2–4% Al і Mg і демонструють підвищений захист від корозії, який приблизно вдвічі вищий, ніж у цинкового покриття з такою ж вагою.



Рис. 30: Мікроструктура гарячеоцинкованої сталі

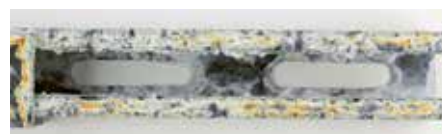


Рис. 31: Буре забарвлення на гарячеоцинкованому каналі після 200 год у сольовому тумані — корозії сталі немає.

Шерардування / термодифузійне цинкування

Опис процесу	Шерардування — метод нанесення цинку, що використовує термодифузію. Сталеві деталі поміщаються в барабан, що містить цинковий порошок, а потім нагріваються до температури понад 320°C. Цинк не є рідким; покриття формується завдяки термодифузії порошку Zn у поверхневі шари сталі.
Товщина покриття	Досяжна товщина покриття становить до 45 мкм.
Інші особливості	Покриття переважно складається зі сплаву ZnFe і забезпечує дуже добрий захист — порівняний із гарячим цинкуванням за однакової товщини. Навіть на складних різьбових деталях процес дає міцні та рівномірні шари.

Багатошарові покриття / дуплексна сталь з покриттям

Коли металеве покриття саме по собі недостатнє, деталі додатково захищають органічними шарами (переважно фарбове покриття, з металевими «пластівцями» або без них).

Приклад. Багатошарове покриття на кріпленнях: електроосаджений сплав Zn (катодний захист) + додатковий органічний верхній шар (хімстійкість) (див. рис. 32).



Рис. 32: Схема багатошарового покриття на кріпленнях і з'єднувачах.

3.2 Корозійна поведінка нержавіючої сталі

Нержавіючою називають сталь із вмістом хрому не менше 10 %. Хром формує стабільний, дуже тонкий оксидний шар (пасивний шар) завтовшки кілька нанометрів. Завдяки цьому нержавіюча сталь не іржавіє й не «бруднить» у контакті з водою, як це робить вуглецева сталь.

Втім, у певних умовах пасивний шар може локально руйнуватися, що запускає точкову корозію (див. 1.2.2). Точкова корозія — домінуюча форма корозії нержавіючих сталей — не дозволяє надійно прогнозувати строк служби, як це можливо при рівномірній корозії. Тому для кожного застосування слід обирати марку нержавіючої сталі, яка не проявляє корозії у даному середовищі.

Стійкість нержавіючих сталей до точкової корозії можна приблизно оцінити за допомогою PREN (число, еквівалентне стійкості до точкової корозії). PREN базується на хімічному складі сталі, враховуючи кількість хрому, молібдену та азоту. У літературі наводяться різні рівняння для цього розрахунку. Найпоширеніші рівняння:

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3.3 \times \% \text{Mo}$$

(для нержавіючих сталей Mo < 3%)

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3.3 \times \% \text{Mo} + 30 \times \% \text{N}$$

(для нержавіючих сталей Mo > 3%)

Ще одна тяжка форма корозії для нержавіючої сталі — корозійне розтріскування під напруженням (SCC). Аустенітні марки можуть бути чутливими до цього виду в особливо агресивних умовах, наприклад у критих басейнах. У таких випадках для окремих застосувань слід використовувати висококорозійностійкі марки, зокрема з умістом молібдену понад 6 %.

Докладніше про вибір марок нержавіючої сталі — у розділі 4.

Марки нержавіючої сталі

Існують різні марки нержавіючої сталі з різним рівнем стійкості. Найпоширеніша — приблизно 18 % Cr і 10 % Ni (див. рис. 33). Зміна вмісту окремих елементів змінює корозійну стійкість, механічні властивості або технологічні, наприклад зварюваність. Якщо вміст нікелю суттєво зменшити, сплав перестав бути чисто аустенітним і поєднує аустенітну та феритну фази — це дуплексні нержавіючі сталі. Окрім цих, існують також мартенситні марки.

Позначення нержавіючих сталей

Ілюстрація на мал. 33 показує три найпоширеніші форми позначень марок нержавіючої сталі:

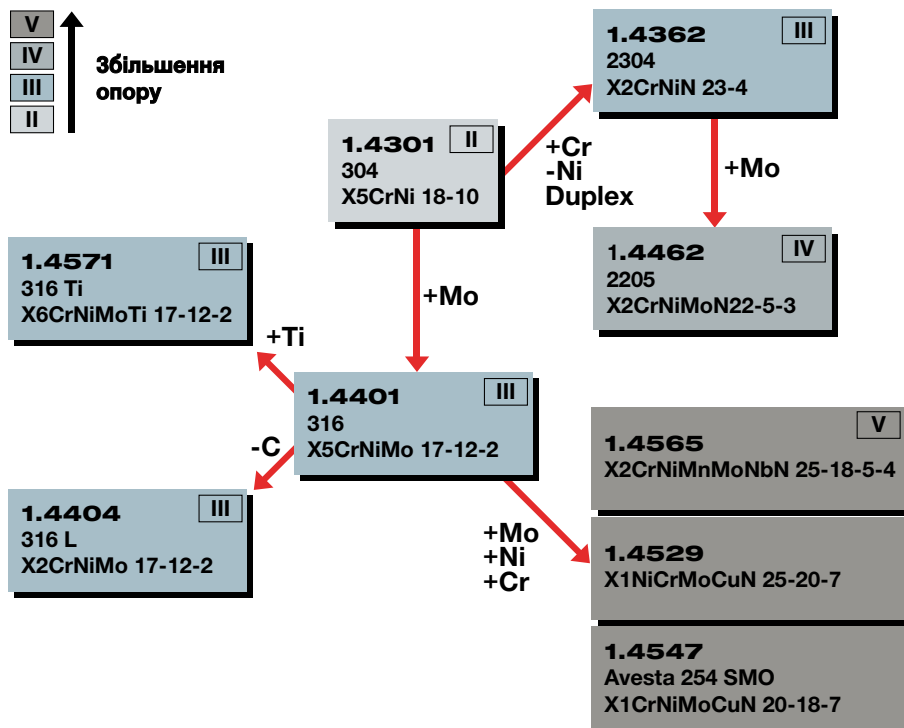


Рис. 33: Дерево класифікації найпоширеніших аустенітних та аустенітно-феритних марок нержавіючої сталі. Римські цифри позначають клас корозійної стійкості (див. також 4.3)

НОМЕР МАТЕРІАЛУ

Опис

Система нумерації матеріалів згідно з EN 10088-1:2014 використовується в кількох країнах. Кожен номер має п'ять цифр, наприклад 1.4404.

Перша цифра 1 означає «сталь». Друга й третя цифри 44 — «хімічно стійкі сталі з Mo, без Nb або Ti». На додачу до позначення 44 існують і такі позначення для нержавіючих сталей:

- “41” = з Mo, без Nb і Ti, Ni < 2,5 %
- “43” = без Mo, Nb і Ti, Ni ≥ 2,5 %
- “44” = з Mo, без Nb і Ti, Ni ≥ 2,5 %
- “45” = з додатковими елементами

Останні дві цифри 04 вказують точний сплав.

ПОЗНАЧЕННЯ AISI (напр., 316)

Опис

Система позначень American Iron and Steel Institute (AISI) застосовується у світі. Вона складається з числа, до якого залежно від складу можуть додаватися літери.

- 200 – аустенітна сталь із хромом, нікелем і марганцем
- 300 – аустенітна сталь із хромом, нікелем
- 400 – феритні та мартенситні хромисті сталі

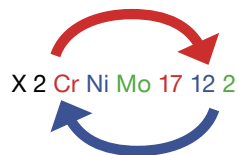
Додаткові літери (приклади нижче) означають:

L = понижений вміст вуглецю Ti = титан

Нові дуплексні нержавіючі сталі мають чотирицифрове позначення (напр., 2205 для 1.4462).

КОРОТКЕ ПОЗНАЧЕННЯ

Опис



- X = високолегована сталь
- 2 = вміст вуглецю у частках відсотка: тут C = 0,02 %
- Cr = хром, у цьому випадку 17 %
- Ni = нікель, 12 %
- Mo = молібден, 2 %

Наведена марка сталі у прикладі відповідає AISI 316L і DIN 1.4404.

ПОЗНАЧЕННЯ V2A ТА V4A — ЗА EN ISO 3506-1:2009

Опис

Терміни V2A і V4A з'явилися понад 100 років тому — в позначеннях перших дослідних плавок нержавіючої сталі. Літера V походить від нім. Versuch («випробування/дослід»), A — від Austenit («аустеніт»). V2A позначає сплав Cr/Ni, V4A — CrNiMo. У деяких країнах ці позначення досі вживають як синоніми нержавіючої сталі.

Стандарт EN ISO 3506-1:2009 (механічні властивості корозійностійких кріплень зі сталі: болтів, гвинтів, шпильок) використовує позначення для аустенітних нержавіючих сталей у діапазоні A1...A5. Цей ряд базується на хімічному складі й не повністю відображає корозійну поведінку. Наприклад, марка 1.4401 належить до групи A4, а 1.4571 — до A5, однак обидва сплави мають практично однакову корозійну стійкість.

Терміни A2 і A4 часто вживають як назви «груп» нержавіючих сталей із певною корозійною стійкістю. Це не зовсім коректно, адже з цих позначень не впливають точні дані про склад, а також окремі властивості (наприклад, зварюваність) визначити за ними не можна.

3.3 Запобігання гальванічній корозії

Гальванічної корозії (див. розділ 1.2.6) можна уникнути правильним добром комбінацій матеріалів. Це не завжди можливо, тому інколи застосовують інші заходи. Приклад — гальванічне розділення різних матеріалів (див. рис. 34).

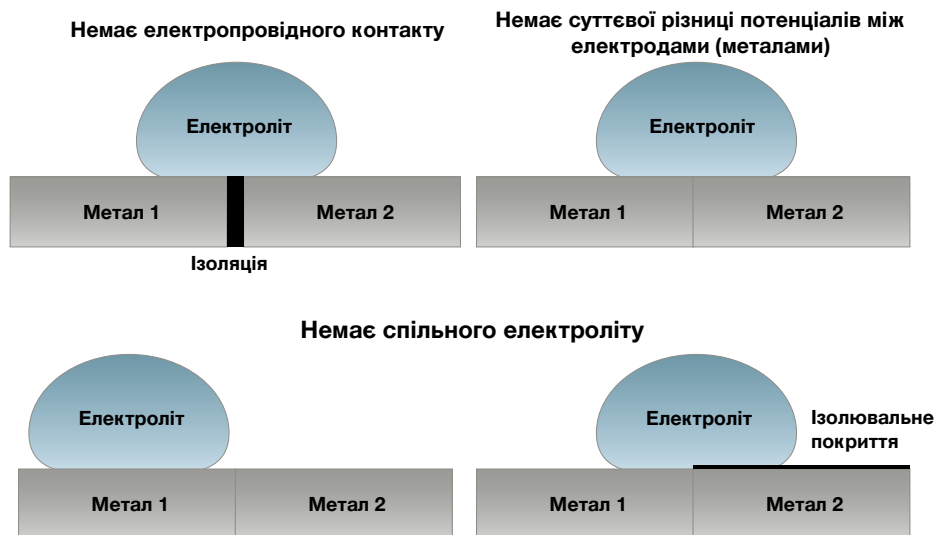


Рис. 34: Умови для поєднань металів без ризику гальванічної корозії.

Щоб мінімізувати гальванічну корозію, різниця вільних корозійних потенціалів між матеріалами має бути якнайменшою, і/або відношення площі менш благородного металу до площі благородного — дуже великим. Вільний корозійний потенціал залежить від стандартного потенціалу (термодинамічного значення для кожного металу) та від корозійного середовища.

Рис. 35 показує потенціал вільної корозії різних матеріалів при зануренні в морську воду. Чим вищий потенціал, тим благороднішим є метал. Контакт з металом, що має менший потенціал, призводить до гальванічної корозії цього менш благородного металу. Різниця в корозійних потенціалах між Zn та ZM є невеликою, щоб не спричинити проблем з контактною корозією.

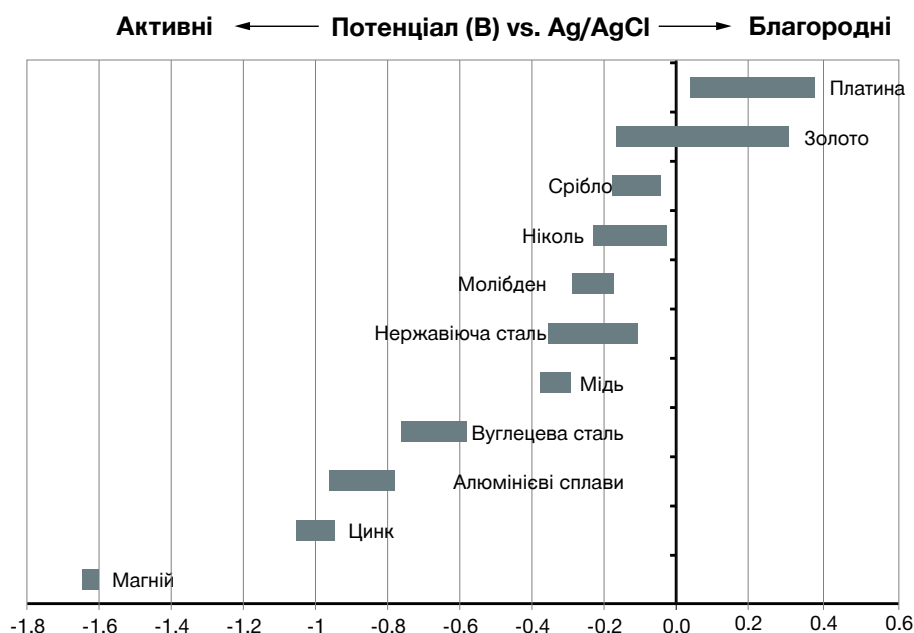


Рис. 35: Корозійний потенціал різних металів у морській воді.

Загальне правило: кріпильний елемент має бути з того самого або з більш благородного металу, ніж деталь, яку кріплять. Зазвичай його площа менша, а його відмова — критична.

Таблиця 2 показує вплив гальванічної (контактної) корозії на строк служби за атмосферних **зовнішніх умов** для різних комбінацій матеріалів.

Закріплювана деталь (велика площа)	Закріплювана деталь (на малу площу)			
	Електрооцинк. покриття	Duplex-покриття вуглецевої сталі	Гарячооцинк. покриття	Нержавіюча сталь
Електрооцинкована	□	□	□	□
Гаряче цинкування Zn та ZM	□	□	□	□
Алюміній	■	■	■	□
Прокатна або лита сталь	■	■	■	□
Нержавіюча сталь (CrNi або CrNiMo)	■	■	■	□
Олово	■	■	■	□
Мідь	■	■	■	□
Латунь	■	■	■	□

Табл. 2: Вплив гальванічної (контактної) корозії на строк служби кріпильного елемента.

- Немає впливу на строк служби
- Помірний вплив, технічно прийнятно в багатьох випадках
- Сильний вплив на строк служби

У середовищах із нульовою чи дуже низькою корозійною агресивністю (тобто сухі внутрішні умови) контактну корозію зазвичай можна не враховувати, і проблемні комбінації матеріалів трапляються рідко. У більшості ж зовнішніх застосувань із комбінаціями матеріалів слід дотримуватися загальних вказівок і обмежень для окремих матеріалів. Наприклад, навіть якщо прискорювальний гальванічний ефект можна знехтувати (як у парі «електрооцинковані деталі Zn — алюміній»), строк служби таких деталей загалом короткий через малу товщину покриття.

У добірних таблицях розділу 5 гальванічну корозію враховано: наведено окремі рядки для закріплюваної деталі типу «сталь», «алюміній» та «нержавіюча сталь».

4 ОЦІНКА КОРОЗІЇ В КОНКРЕТНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ЗАСТОСУВАННІ

У цьому розділі наведено підходи, що допомагають визначити корозійність певних середовищ. Параметри, які впливають на корозію, можуть коректно оцінити лише фахівці на місці конкретного проекту. Відповідно, остаточне рішення щодо вибору матеріалу й продуктів лежить на користувачеві та/або проєктанті. Працівники Hilti можуть надати необхідну базову інформацію про нашу продукцію, однак виконати повну перевірку очікуваної корозійності запланованого застосування — неможливо.

4.1 Чинники, що впливають на атмосферну корозію

За наявності типових атмосферних параметрів для конкретного застосування можна орієнтовно оцінити корозійність середовища та, відповідно, швидкості корозії виробів із цинку й сталі (див. рис. 36).



Рис. 36: Чинники, що впливають на атмосферну корозію.

Важливими змінними для атмосферної корозії є:

Температура

Загальний вплив	Збільшення температури призводить до підвищення швидкості хімічної реакції і, відповідно, до підвищення швидкості корозії. Це особливо актуально при постійному рівні відносної вологості.
Додаткова інформація	З іншого боку, підвищення температури сприяє висиханню мокрих поверхонь і може уповільнювати швидкість корозії. При температурі нижче точки замерзання корозія незначна. Тому вплив температури на корозію може бути двояким.
Приклади	У подібних середовищах, таких як прибережні регіони, де зазвичай спостерігається високий рівень вологості, підвищення середньої температури також прискорює швидкість корозії. Як наслідок, прибережні та офшорні зони в тропічному кліматі мають значно вищу корозійну активність, ніж аналогічні зони в холодних регіонах.

Вологість

Загальний вплив	Атмосферна корозія відбувається лише за наявності плівки вологи на поверхні металу. Без вологості більшість забруднювачів майже не діють. Період, протягом якого присутня плівка вологи, також називається часом зволоження. Як загальноприйняте правило, згідно зі стандартом ISO 9223:1998, час зволоження визначається як період, протягом яких відносна вологість перевищує 80%. Це лише приблизна оцінка, оскільки утворення плівки вологи на поверхні також залежить від наявності гігроскопічних солей (наприклад, продуктів корозії або соляних відкладень). Тому конденсація в прибережних середовищах з хлоридами відбуватиметься при нижчих рівнях відносної вологості. Розрахунок швидкості корозії згідно з останнім стандартом ISO 9223:2012 враховує лише середню відносну вологість, виміряну за один рік (див. 5.1).
Додаткова інформація	Дощ не завжди збільшує корозійну активність. Він може навіть мати сприятливий ефект, змиваючи хлориди та забруднення. Однак у звичайно сухих і слабокорозійних середовищах дощова вода може забезпечити вологу, необхідну для ініціювання корозійної реакції.
Приклади	У сільській/міській атмосфері захищені від дощу ділянки зазвичай кородують менше, ніж відкриті. Натомість у прибережних районах відсутність «змиву» дощем часто призводить до сильнішої корозії.

Хлориди

Загальний вплив	Атмосферна солоність помітно підвищує швидкість корозії. Хлориди мають численні згубні наслідки для корозії металів, зокрема: • Зниження вологості насичення: солі сприяють конденсації за нижчої відносної вологості — плівка вологи тримається довше. • Утворення розчинних продуктів корозії: йони металів утворюють металеві хлориди, що зазвичай не дають достатнього бар'єрного захисту. • Руйнування пасивних плівок: хлориди атакують оксидні шари на пасивних металах, як-от нержавіюча сталь та алюміній.
Додаткова інформація	Корозійна поведінка конкретного металу в середовищах, що містять хлориди, сильно залежить від його здатності утворювати стабільні та нерозчинні продукти корозії разом з присутніми хлоридами. Наприклад, це стосується цинку, що пояснює набагато нижчу швидкість корозії цинку порівняно зі сталлю.
Приклади	В прибережній атмосфері основним джерелом хлоридів є морська вода. Вона містить переважно хлорид натрію (понад 90% солі), а також хлориди кальцію та магнію. Основним джерелом антропогенних хлоридів є використання протижелезних солей на дорогах взимку.

Діоксид сірки

Загальний вплив	З усіх атмосферних забруднень, що походять від промислових процесів, таких як спалювання палива та виплавка металів, діоксид сірки є найважливішим за концентрацією та впливом на швидкість корозії. Газоподібний діоксид сірки в атмосфері підкислює електроліт на поверхні і призводить до утворення розчинних продуктів корозії. Таким чином, швидкість корозії збільшується на багатьох металах, наприклад, на цинку, сталі, алюмінії та нержавіючій сталі.
Додаткова інформація	Викиди діоксиду сірки скорочуються в більшості промислово розвинених країн і досягли незначного рівня в багатьох міських і навіть промислових районах (нижче 10 мкг/м³ або навіть менше). Однак, у світі все ще існують сильно забруднені «гарячі точки», де при виборі матеріалу необхідно враховувати збільшення корозії через SO ₂ .
Приклади	Стандарт ISO 9223:2012 класифікує атмосфери з концентрацією SO ₂ понад 50 мкг/м³ (середньорічне значення) як сильно забруднені середовища.

4.2 Оцінка корозійної активності для виробів з цинковим і ZM-покриттям

У цьому розділі описано, як допомогти оцінити та передбачити очікувану корозію в даному середовищі для виробів з цинковим покриттям та ZM-покриттям. Слід зазначити, що це стосується лише чисто атмосферної корозії, коли виріб повністю піддається впливу погодних умов. Застосування, де, наприклад, виріб контактує з ґрунтом, занурений у морську воду або розташований у зоні розбризкування, виключаються, так само як і додаткові ефекти, спричинені гальванічною корозією, ерозією або впливом хімічних речовин.

Оцінювання корозійності згідно з ISO 9223:2012 можна виконати двома шляхами (див. рис. 37):

1. Розрахункова оцінка — за класифікацією ISO 9223:1998 або за дозовідповідною функцією (нова версія — ISO 9224:2012).
2. Шляхом проведення однорічних випробувань матеріалу/виробу, що буде використовуватися, та вимірювання швидкості корозії.

Для більшості проєктів проведення однорічних випробувань є нездійсненним, тому найчастіше використовується метод оцінки. Для цього методу необхідні основні кліматичні та екологічні параметри, описані раніше, а саме: середня температура, середня відносна вологість, відкладення хлоридів і концентрація SO₂.

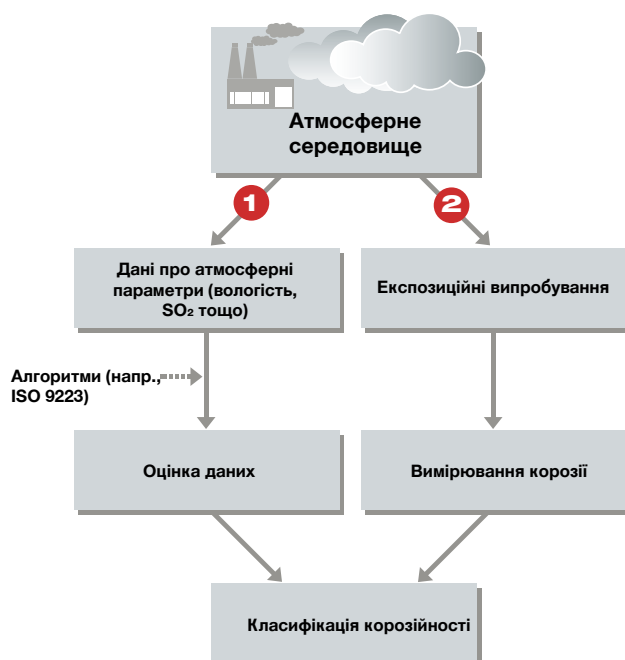


Рис. 37: Методи оцінювання атмосферної корозійності.

Результатом такого підходу є оцінена швидкість корозії цинку або сталі в даному середовищі. Отримані значення швидкості корозії визначають переважаючу категорію корозійності (С-клас, див. табл. 3).

Як зазначено у стандарті, можливе відхилення при використанні екологічних даних і дозо-відповідної функції може сягати до 50 %. Результати дійсні лише для макрокліматичних і повністю відкритих (без укриття) умов. Фактори на кшталт накопичення агресивних речовин чи гальванічної корозії, які можуть істотно впливати на швидкість корозії, у цьому підході не враховуються. Втім, якщо такі додаткові джерела відсутні, точності розрахунку зазвичай достатньо для добору матеріалу.

Корозія — природний процес, на який впливають змінні чинники середовища, що неможливо передбачити на весь розрахунковий строк. Тому для кріпильно-монтажних виробів завжди доцільний консервативний підхід.

Категорія корозійності	Рівень корозійності	Типові середовища	
		Всередині	Зовні
C1	Дуже низький	Опалювані приміщення з низькою відносною вологістю та мінімальним забрудненням: офіси, школи, музеї.	Сухі або холодні зони з дуже низьким забрудненням і коротким часом зволоження: окремі пустелі, Центральна Арктика / Антарктика.
C2	Низький	Неопалювані приміщення зі змінними температурою та вологістю, низька частота конденсації, низьке забруднення: склади, спортзали.	Помірний клімат, низьке забруднення ($\text{SO}_2 < 5 \text{ мкг/м}^3$): сільська місцевість, малі міста. Сухі або холодні зони з коротким часом зволоження: пустелі, субарктика.
C3	Середній	Приміщення з помірною частотою конденсації та помірним техногенним забрудненням: харчові виробництва, пральні, пивоварні, молокозаводи.	Помірний клімат, середнє забруднення ($\text{SO}_2: 5 \dots 30 \text{ мкг/м}^3$) або певний вплив хлоридів: міські зони, прибережні райони з низькими відкладами хлоридів. Субтропіки й тропіки з низьким забрудненням.
C4	Високий	Приміщення з високою частотою конденсації та високим техногенним забрудненням: промислові цехи, басейни.	Помірний клімат, високе забруднення ($\text{SO}_2: 30 \dots 90 \text{ мкг/м}^3$) або суттєвий вплив хлоридів: забруднені міські/промзони, узбережжя без бризок морської води, або вплив значних кількостей протижелезних солей. Субтропіки й тропіки з середнім забрудненням.
C5	Дуже високий	Приміщення з дуже високою частотою конденсації та/або високим техногенним забрудненням: шахти, промислові штреки, непровітрювані навіси в субтропіках і тропіках.	Помірний і субтропічний клімат, дуже високе забруднення ($\text{SO}_2: 90 \dots 250 \text{ мкг/м}^3$) та/або значний вплив хлоридів: промзони, узбережжя, захищені позиції на береговій лінії.
CX	Екстремальний	Приміщення з майже постійною конденсацією або тривалим впливом екстремальної вологості та/або дуже високим техногенним забрудненням: непровітрювані навіси у вологих тропіках з проникненням зовнішніх забрудників (у т.ч. дрібнодисперсні частинки, хлориди).	Субтропіки й тропіки з дуже високим часом зволоження, атмосфери з дуже високим $\text{SO}_2 (> 250 \text{ мкг/м}^3)$ включно зі супутніми/виробничими факторами та/або сильним впливом хлоридів: екстремальні промзони, узбережжя й офшор, епізодичні бризки морської води.

Таблиця 3 — Категорії корозійної агресивності та типові середовища (за ISO 9223)

Таблиця описує можливі середовища щодо класу корозійної агресивності. Її можна використовувати для приблизного визначення класу для конкретного застосування, але суворе слідування стандарту вимагає визначення класу за виміряною швидкістю корозії або за найважливішими параметрами середовища. Таблиця охоплює лише типові атмосферні умови.

Швидкості корозії для сталі, цинку, алюмінію й міді щодо класів С наведено у стандарті ISO 9223.

Zn-сплавні покриття (як-от ZM) мають суттєво нижчі швидкості корозії в атмосфері. Для орієнтовної оцінки строку служби таких покриттів стандарт DIN 55634 подає корисну таблицю вибору. Вона ґрунтується на технічно обґрунтованому припущенні, що ZM-покриття кородують приблизно вдвічі повільніше, ніж чисте цинкове покриття.

Товщина покриття (мм)		Час до появи червоної іржі (для класу впливу)														
		C2			C3			C4			C5-I			C5-M		
		L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
Цинк	Z140	10	x	x												
	Z275	20	x	x		x										
	Z600	42	x	x	x	x	x	x	x		x			x		
ZM	ZM140	11	x	x	x	x										
	ZM275	21	x	x	x	x	x	x								
	ZM310	24	x	x	x	x	x	x	x							

L = 2-5 років M = 5-15 років H = > 15 років

Табл. 4: Очікуваний строк служби покриттів Zn та Zm

4.3 Оцінювання корозійності для виробів із нержавіючої сталі

Строго кажучи, категорії корозійної агресивності C-класи за ISO 9223 формально стосуються цинку, вуглецевої сталі, алюмінію й міді. Через інший механізм корозії для нержавіючої сталі потрібна інша система класифікації. За відсутності агресивних домішок нержавіюча сталь стійка до вологи й води; однак руйнування пасивного шару речовинами на кшталт хлоридів треба враховувати окремо — це обмежує застосовність деяких марок.

На відміну від цинку, чиста вологість без забруднювачів майже не впливає на корозію нержавіючої сталі. Важливішим є вплив хлоридів та змивання (дощем чи іншою водою), яке видаляє продукти корозії та агресивні речовини. У багатьох застосуваннях саме дія змиву дозволяє використовувати «слабші» марки. Для покрівель та фасадів це може бути варіантом. Водночас у типовому кріпильно-монтажному застосуванні часто є захищені від дощу зони.

Міжнародні документи (Eurocode 3, EN 1993-1-4, проєкт редакції) та національні стандарти й настанови (наприклад, німецьке технічне схвалення DIBt Z.30.3-6) зазвичай використовують спеціальну бальну систему під час оцінювання придатності певних марок нержавіючої сталі.

Ця система враховує ризики від основних чинників впливу, на підставі чого обчислюється коефіцієнт корозійної стійкості (CRF). Кожному чиннику ризику (хлориди, діоксид сірки, ефект змивання) відповідає певна кількість балів.

CRF залежить від агресивності середовища і розраховується так:

$CRF = F1 + F2 + F3$, де

- F1 — ризик дії хлоридів із морської води або протиожеледних солей (категорії від +1 до -15, головним чином визначається відстанню до узбережжя або доріг, де застосовують солі);
- F2 — ризик дії діоксиду сірки (категорії від 0 до -15, за середньою концентрацією SO₂);
- F3 — режим очищення або змивання дощем (категорії від +1 до -7)

Підсумовування всіх факторів дає певну кількість балів (фактор корозійної стійкості CRF), які потім співвідносяться з п'ятьма класами корозійної стійкості (див. Таблицю 4). Це лише уривок з процедури. Для отримання детальної інформації, будь ласка, зверніться до стандартів.

Клас корозійної стійкості (CRC) (зв'язок з фактором корозійної стійкості CRF)

I CRF = 1	II 0 ≥ CRF > -7	III -7 ≥ CRF > -15	IV -15 ≥ CRF ≥ -20	V CRF < -20
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4462	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4539	1.4547
	1.4541	1.4571		1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4162		
	1.4482	1.4662		
		1.4362		
		1.4062		
		1.4578		

Таблиця 4: Перелік марок нержавіючої сталі в класах корозійної стійкості на основі таблиць в EN 1993-1-4:2006 (остаточна редакційна версія 2014)

В асортименті кріпильних та монтажних систем Hilti ви знайдете такі марки, як 1.4301, 1.4404 та найстійкішу 1.4529 (див. Таблицю 6), що охоплюють усі важливі класи корозійної стійкості.

Марки сталі	Клас корозійної стійкості	Продукція
1.4301 (A2, 304)	II	Гвинти, анкери, монтажні вироби
1.4401 (A4, 316)	III	Гвинти, анкери, монтажні вироби, кріпильні елементи для інструмента прямого монтажу
1.4404 (A4, 316L)	III	Гвинти, анкери, монтажні канали, кріпильні елементи для інструмента прямого монтажу
1.4571 (A5, 316Ti)	III	Монтажна продукція
1.4362 (duplex, 2304)	III	Анкери, кріпильні елементи для інструмента прямого монтажу
1.4462 (duplex, 2205)	IV	Кріпильні елементи для інструмента прямого монтажу
1.4529 (HCR)	V	Анкери

Табл. 5 — Приклади марок нержавіючої сталі, що застосовуються у виробках Hilti

Для детальнішої інформації про марки нержавіючої сталі у наших виробках звертайтеся до каталогів продукції або на hilti.com.

5 ЯК ВИБРАТИ ВІДПОВІДНУ КРІПІЛЬНУ ТА МОНТАЖНУ СИСТЕМУ

Інформація про таблиці вибору

Hilti пропонує кріпильні та монтажні системи з широкого спектру відповідних та економічно ефективних матеріалів. Однак, відмінності в корозійній поведінці, складність факторів, що впливають на корозію, та кількість національних і міжнародних стандартів і норм, що застосовуються в галузі корозії, можуть стати проблемою при виборі правильного матеріалу для певного застосування.

Щоб надати початковий огляд характеристик різних продуктів, наші таблиці показують загальну придатність і, де можливо, орієнтовну оцінку строку служби продуктів у деяких типових середовищах.

«Важливі примітки» містять інформацію, яку завжди слід враховувати під час використання таблиць.

Важливі примітки

Остаточне рішення щодо необхідного захисту від корозії приймає замовник. Hilti не несе відповідальності за придатність продукту для конкретного застосування, навіть якщо була поінформована про умови застосування. Таблиці базуються на середньому строку служби для типових застосувань.

Для металевих покриттів, наприклад систем цинкового шару, закінчення строку служби — це момент, коли на значній частині виробу стає видимою червона іржа та може відбутися широкомасштабне структурне погіршення; початкова поява іржі може статися раніше.

Національні або міжнародні норми, стандарти чи правила, а також галузеві або клієнтські настанови мають розглядатися та оцінюватися окремо.

Таблиці, опубліковані в цьому посібнику, є лише загальним керівництвом для загальноприйнятих застосувань у типових атмосферних середовищах.

Придатність для конкретного застосування може істотно залежати від локальних умов, зокрема (але не обмежуючись):

- Підвищена температура та вологість
- Високий рівень забруднень у повітрі
- Прямий контакт з корозійними продуктами, наприклад, що містяться в деяких видах хімічно обробленої та/або кислотної деревини, стічних водах, добавках для бетону, миючих засобах тощо
- Прямий контакт з ґрунтом, стоячою водою
- Прямий контакт зі свіжим/молодим бетоном (віком менше 28 днів)
- Електричний струм
- Контакт з різномірними металами
- Обмежені ділянки, наприклад, щілини
- Фізичне пошкодження або знос
- Екстремальна корозійна активність через комбінований вплив різних факторів

У таблиці 6 детальніше описані умови навколишнього середовища, наведені в таблицях. Також вказані основні категорії корозійності та класи корозійної стійкості.

		Категорії корозійності згідно з ISO 9223:2012	Клас корозійної стійкості Нержавіюча сталь
Внутрішні застосування			
	Сухі внутрішні середовища (опалювані або кондиціоновані приміщення) без конденсації, напр.: офісні будівлі, школи	C1, C2	1
	Внутрішні середовища з тимчасовою конденсацією (неопалювані зони без забруднювачів), напр.: складські навіси.	C1, C2	1
Зовнішні застосування			
	Зовнішнє, сільське або міське середовище з низьким рівнем забруднення Велика відстань від моря (> 10 км).	C2, C3	2
	Зовнішнє, сільське або міське середовище з помірною концентрацією забруднювачів і/або солі з морської води Відстань від моря 1–10 км.	C2, C3, C4	2, 3
	Прибережні райони Відстань від моря < 1 км.	C3, C4, C5, CX	3, 4
	Зовнішні з потужним промисловим забрудненням Середньорічна концентрація SO ₂ > 10 мкг/м ³ (напр.: нафтохімія, вугільна промисловість).	C4, C5, CX	3, 4
	Безпосередня близькість до автошляхів, де застосовують протиожеледні солі Відстань від дороги < 10 м.	C3, C4, C5	3, 4
Спеціальні застосування			
	Спеціальні застосування Зони з особливими корозійними умовами, напр.: дорожні тунелі з протиожеледними солями, криті басейни, спеціальні застосування в хімічній промисловості (можливі винятки).	Спеціальні кліматичні умови, не охоплені C-класами	4, 5
			

Таблиця 6 — Умови навколишнього середовища та їх зв'язок із категоріями корозійної агресивності й класами корозійної стійкості (ISO 9223:2012).

Таблиці вибору для кріплень і монтажних систем

Кріплення, такі як анкери, цвяхи та гвинти часто застосовуються для одиночних вузлів і елементів, критичних до безпеки. Обмежена або відсутня видимість кріплень після монтажу, неможливість ремонту чи заміни, характер елемента, що кріпиться, і (для розпірних анкерів) умови тертя в просвердленому отворі — усе це вимагає зваженого, консервативного підходу, щоб мінімізувати ризик корозії матеріалу кріплення. Для оцинкованих кріплень кінець строку служби збігається з початком втрати несучої здатності сталі-основи під шаром цинку. Тому таблиця вибору для кріплень не задає «діапазон строку служби», а дає загальну відповідь «так/ні» та рекомендацію, виходячи з розрахункового строку служби будівлі, визначеного в настановах із затвердження, напр., 25 або 50 років — див. виноска до таблиць.

Кріплення часто є частиною несучої системи будівлі, отже строк служби кріплення має дорівнювати розрахунковому строку служби будівлі. Натомість другорядні конструкції, як-от **монтажні опори** (installation supports), зазвичай не розраховані на повний строк служби основної структури, оскільки інженерні системи будівель підлягають частим замінам і модифікаціям.

Крім того, у багатьох застосуваннях з монтажними каналами можливі ремонт або заходи з продовження строку служби, наприклад нанесення цинкового спрею. За належної оцінки корозійності середовища (включно із запланованим строком служби) і впровадження періодичних оглядів та інтервалів ремонту, виробів холодного прокату можна економно й безпечно застосовувати в широкому спектрі умов.

Для оцинкованих монтажних систем початок корозії сталевих основ спочатку не спричиняє негайних проблем із механічною цілісністю. Появу приблизно 5 % червоної іржі на поверхні вважають індикатором завершення періоду захисту, що забезпечувався цинковим покриттям. Через це неможливо коректно наводити «довідковий діапазон очікуваного строку служби» для конкретного середовища.

European Technical Approval – металеві анкери для бетону

Для анкерів чинне European Technical Approval (ETA) вимагає застосування нержавної сталі класу корозійної стійкості III (клас “A4”) для зовнішніх застосувань загалом. Спеціальні застосування, як-от дорожні тунелі та криті басейни, вимагають ще вищого класу (IV або V). Мета такого підходу — надати користувачу консервативні та практичні вказівки з вибору відповідного матеріалу для зовнішніх умов. Намір ETA — усунути потребу в детальній оцінці середовища та застосування за умови суворого дотримання ETA (передбачається відсутність неатмосферних корозійних впливів). Наприклад, користувачеві не потрібно окремо оцінювати вплив хлоридів на майданчику, спричинений близькістю до моря або застосуванням протижеледних солей.

Водночас, у випадках, коли вплив хлоридів можна знехтувати, допускається вихід за межі специфікацій ETA. З технічної точки зору гаряче цинкована або нержавна сталь CRC II (“A2 class”) може бути придатною для зовнішніх застосувань із певними обмеженнями щодо середовища та правил застосування. Це спирається на довгостроковий досвід використання таких матеріалів. Зверніть увагу: це потребує спеціальної оцінки й кращого розуміння конкретного застосування та середовища (див. наступні таблиці).

5.1 Вибір належного захисту від корозії для анкерів, порохових кріплень і гвинтів

Для того щоб кріплення працювали надійно протягом усього розрахункового строку служби з погляду корозійної стійкості, перед вибором типу кріплення необхідно ідентифікувати всі чинники впливу.

Наведена нижче таблиця дає загальні вказівки для найпоширеніших випадків застосування кріпильних елементів. Для кожного матеріалу кріплення показано рекомендований тип захисту від корозії залежно від типових атмосферних умов (див. примітки).

Анкерні профілі Hilti HAC доступні в гарячеоцинкованій сталі згідно з EN ISO 1460:2009-10. Спеціальні болти HBS доступні у версіях із електрооцинкуванням, гарячим цинкуванням та A4. HAC можна комбінувати з HBS у будь-яких матеріальних комбінаціях для сухих внутрішніх середовищ згідно з ETA-11/0006 (28.02.2012). Для гарячеоцинкованих HBS дозволене також використання у внутрішніх середовищах із тимчасовою конденсацією.

Анкери, порохові кріплення та гвинти		Приклади продуктів Анкери		HSA, HUS3, HST, HIT-V, HRD		HUS3-HF		HSA-F, HIT-V-F		HSA-R2, HRD-R2		HUS-HR, HSA-R, HST-R, HIT-V-R, HIT-Z-R, HRD-R		HST-HCR	
		Гвинти				S-DS01, S-DD01		S-MD Z, S-MP Z		S-CD C, S-IT C		S-MD S, S-CD S		S-MD SS, S-CD SS	
		Порохові кріплення				X-ENP ¹⁾ , X-U, X-GHP, X-GN		X-FCM-M, X-GR				X-BT, X-BT-ER, X-CR, X-FCM-R		On request	
		Покриття/матеріал		Вуглецева сталь (з/без фосфатування)		Електрооц. покриття		Вуглецева сталь з дуплекс-покриттям		Гаряче цинкування / шерардування 45–50 мкм		A2 AISI 304		A4 AISI 316	
Умови навк. середовища		Кріпильна деталь													
 Сухе внутрішнє середовище		сталь (оцинк., пофарбована), алюміній, нерж. сталь		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
 Внутрішнє середовище з тимч. конденсацією		Сталь (оцинк., пофарбована), алюміній		–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Нержавіюча сталь		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
 Зовнішнє з низьким забрудненням		Сталь (оцинк., пофарбована), алюміній		–	–	□ ²⁾	□ ²⁾	■ ²⁾	■ ²⁾	■ ²⁾	■ ²⁾	■	■	■	■
		Нержавіюча сталь		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
 Зовнішнє з помірною концентрацією забруднювачів		Сталь (оцинк., пофарбована), алюміній		–	–	□ ²⁾	□ ²⁾	■ ²⁾	■ ²⁾	■ ²⁾	■ ²⁾	■	■	■	■
		Нержавіюча сталь		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
 Прибережні райони		сталь (оцинк., пофарбована), алюміній, нерж. сталь		–	–	–	–	–	–	–	–	■	■	■	■
 Зовнішні райони з сильним пром. забрудненням		сталь (оцинк., пофарбована), алюміній, нерж. сталь		–	–	–	–	–	–	–	–	■	■	■	■
 Безпосередня близькість до автошляхів		сталь (оцинк., пофарбована), алюміній, нерж. сталь		–	–	–	–	–	–	–	–	■	■	■	■
 Спеціальні застосування		Консультуйтеся з експертами													■

■ = еоцікуваний строк служби кріплень із цього матеріалу зазвичай відповідає заданому середовищу з огляду на типовий строк служби будівлі (орієнтир: у European Technical Assessments — 50 років для бетонних анкерів, 25 років для порохових/сталевих/сендвіч-гвинтів, 10 років для гвинтів для плоских \ утеплювачів).

□ = потрібно врахувати скорочення строку служби для не нержавіючих матеріалів (≈ до 25 років). Більший строк потребує окремої оцінки.

– = не придатно; винятки можливі лише після спеціальної оцінки

¹⁾ Зовнішній вплив до 6 місяців під час будівництва допустимий для високоміцних електрооцинкованих настільних/покрівельних кріплень Hilti (напр., X-ENP).

²⁾ Із технічної точки зору HDG/duplex-покриття та матеріал A2/304 є придатними для зовнішніх умов за певних обмежень застосування. Це ґрунтується на довготривалому досвіді використання цих матеріалів, що, зокрема, відображено у швидкостях корозії цинку в ISO 9224:2012 (категорії корозійної агресивності, C-класи), у рекомендаціях щодо вибору марок нержавної сталі в Eurocode 3 EN 1993 (final draft 2014) або в національному технічному схваленні DIBt Z.30.3-6 (квітень 2014), а також у звітних оцінках ICC-ES для наших виробів для Північної Америки (напр., ESR-1917, травень 2013). Водночас застосування цих матеріалів у зовнішніх умовах наразі не охоплене European Technical Assessments (ETA) для анкерів, де зазначено, що анкери з гарячеоцинкованої вуглецевої сталі або з нержавної сталі класу A2 можуть застосовуватися лише в сухих внутрішніх умовах, виходячи з припущеної робочої тривалості служби анкера 50 років.

5.2 Вибір відповідної монтажної системи

Монтажні системи Hilti випускаються з різними типами покриттів, щоб забезпечити надійну роботу в будь-яких умовах.

Система Hilti	Внутрішні покриття	Зовнішні покриття		Зовнішні Plus	
	Zn	HDG Zn	HDG ZM	S A2	S A4
Профілі MM	X				
Компоненти MM	X				
Профілі MQ	X	X	X	X	X
Компоненти MQ	X	X			X
Профілі MT	X		X		
Компоненти MT	X	X			
Профілі MI та MIQ		X			
Компоненти MI та MIQ		X			
Профілі MC	X	X			
Компоненти MC		X			

Типова очікувана тривалість служби монтажних систем Hilti наведена нижче.

		Внутрішнє покриття (C1–C2)		Зовнішнє покриття (C3)		Зовнішнє Plus	
Монтажні системи		Анкерний профіль	MT, MQ, MM, MC	MT-OC, MQ-F, MQ ASTM, MC-OC, MI, MIQ		MQ системи нержавійка A2/ AISI 304	MQ системи нержавійка A4/ AISI 316
		Кріплення труб	Внтр. трубні хомути	HDG трубні хомути ²	MI-UB, MI-PS	Нержавіючі трубні хомути ³	
Умови середовища		Строк служби (роки)					
	Сухе внутрішнє	50–100		100		■	■
	Внутрішнє з тимч. конденсацією	25–70		50–100		■	■
	Зовнішнє з низьким забрудненням	5–10		25–70		■	■
	Зовнішнє з помірною концентрацією забруднювачів	–		15–40		■	■
	Прибережні райони	–		5–20		–	■
	Зовнішні райони з вагомим промисловим забрудненням	–		5–20		–	■
	Безпосередня близькість до доріг	–		–		–	■
 	Спеціальні застосування		Консультуйтеся з експертами				

■ = очікувана тривалість служби монтажної системи з цього матеріалу зазвичай є задовільною в зазначеному середовищі.

¹⁾ Внтр. трубні хомути: MP-H, MP-HI, MP-LH, MP-LHI, MPN, MP-MI, MP-MIS, MP-M, MP-MXI, MP-MX, MP-PI, SDC, MP-SP

²⁾ HDG трубні хомути: MP-MI-F, MP-M-F, MP-MXI-F, MP-MX-F

³⁾ Нержавіючі трубні хомути: MP-SRN, MP-SRNI, MP-MR, MP-MRI, MP-MRXI

Примітка

- Під «тривалістю служби» мається на увазі потенційна кількість років до появи 5 % червоної іржі на поверхні будь-якого виробу в межах системи (зазвичай ідеться про різьбові елементи, а не про профілі, з'єднувачі чи опорні плити)
- Тривалість служби залежить від конкретних умов навколишнього середовища у місці реалізації проєкту

6 БІБЛІОГРАФІЯ

Інтернет ресурси

Загальне о корозії

<http://corrosion-doctors.org/>

Цинкове покриття

<http://www.feuerverzinken.com/>

<http://www.galvanizeit.org/>

<http://www.nordicgalvanizers.com/>

Нержавіюча сталь

<http://www.edelstahl-rostfrei.de/>

<http://www.bssa.org.uk/>

<http://www.worldstainless.org/>

<http://www.euro-inox.org/> (information available in many languages)

Стандарти

EN ISO 8044:1999-08

EN ISO 9223:2012-02

EN ISO 9224:2012-02

EN ISO 9227:2012-05

EN ISO 16701:2008-04

ISO 20340:2009-04 EN

ISO 6270-1:2001-08 EN

ISO 6988:1994-10 EN

ISO 3506-1:2009 DIN

55634-1: 2018

Література

G. Kreysa M. Schütze, "Corrosion Handbook Volume 6: Atmosphere, Industrial Waste Gases", Wiley VCH, 2004

P. R. Roberge, "Handbook of Corrosion Engineering", McGrawHill, 2012

H. Kaesche, "Corrosion of Metals: Physicochemical Principles and Current Problems", Springer, 2003

X.G. Zhang, "Corrosion and Electrochemistry of Zinc", Springer, 1996

U. Nürnberger, "Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen", Bauverlag, 1995

7 ВІДМОВА ВІД ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ

Уся інформація, наведена в цьому посібнику, ґрунтується на випробуваннях, принципах, формулах, стандартах і схваленнях, описаних у ньому, чинних станом на дату публікації (червень 2021 року). Вона застосовна лише до застосувань, порівнюваних з описаними умовами. Екстраполяція результатів на інші середовища не допускається. Настанови з вибору та відомості щодо очікуваного строку служби базуються лише на атмосферній корозії та призначені виключно як орієнтовний довідник для допомоги на етапі первинної оцінки. Умови конкретного майданчика, зокрема загальні параметри корозії (наприклад, температура, рух повітря й води, локальні забруднювачі, механічне стирання), інші форми корозії, вимоги до строку служби, критичність застосування, програми інспекцій, а також місцеві правові, нормативні або проєктні вимоги можуть істотно впливати на процес вибору й завжди мають оцінюватися. Значний розкид значень також можливий у межах діапазону характеристик покриття/матеріалу та параметрів середовища, що стосуються конкретної споруди. Повна оцінка та остаточний вибір є відповідальністю фахівця проєкту або, відповідно, покупця. Цей звіт слід розглядати як єдине ціле і дозволено передавати іншим або копіювати для подальшого використання лише повністю, без змін. Оскільки ця інформація призначена лише як загальне керівництво, Hilti не несе жодної відповідальності за будь-які збитки або травми, що виникають унаслідок використання цього посібника.



Hilti Corporation
9494 Schaan, Liechtenstein
P +423-234 2965

www.facebook.com/hiltigroup
www.hilti.group