

Предисловие

Коррозия – это широко распространенный естественный процесс. Каждый из нас не раз сталкивался со следами коррозии на ржавых стальных деталях. Коррозия имеет серьезные экономические последствия. Примерно пятая часть ежегодно производимой в мире стали используется для замены стальных изделий, поврежденных коррозией. Несмотря на то, что использование правильной и эффективной защиты от коррозии и увеличивает первоначальные расходы, в долгосрочной перспективе это поможет сэкономить денежные средства и ресурсы. Для крепежных систем защита от коррозии еще более необходима, поскольку качество крепежа напрямую влияет на безопасность. Повреждения, вызванные коррозией, могут привести к очень серьезным последствиям.

Данная брошюра предназначена для общего ознакомления читателя с проблемами коррозии. В ней содержится основная информация об этом явлении и свойствах материалов, применяющихся для защиты наших изделий от коррозии.

Для оценки коррозионной стойкости своей продукции компания Hilti проводит комплексные лабораторные и полевые испытания. Некоторые долгосрочные испытания были начаты в 80-х гг. XX века и продолжаются до сих пор. Благодаря собственным разработкам и сотрудничеству с известными университетами и лабораториями компания Hilti имеет возможность предложить соответствующие решения по наиболее подходящей защите от коррозии для самых разнообразных условий окружающей среды.

Тем не менее, ответственность за выбор материалов или способа антикоррозионной защиты в каждом конкретном случае лежит на клиенте.

Представитель компании Hilti в Вашем регионе с готовностью ответит на все Ваши вопросы. Он в свою очередь также имеет возможность в любое время получить поддержку от специалистов Отдела корпоративных исследований и разработок компании Hilti, что позволит Вам воспользоваться имеющимися обширными и глубокими знаниями и наработками.

Содержание

Предисловие	2
1. Теоретические основы коррозии	5
1.1. Что такое коррозия?	5
1.2. Формы коррозии	7
1.2.1. Равномерная коррозия/неглубокая точечная коррозия	7
1.2.2. Точечная (питтинговая) коррозия	8
1.2.3. Щелевая коррозия	9
1.2.4. Растрескивание, вызванное воздействием среды	10
1.2.5. Межкристаллитная (межзеренная) коррозия	12
1.2.6. Гальваническая (контактная) коррозия	13
2. Методы оценки коррозионных характеристик и проверки продукции на соответствие техническим условиям компании Hilti	14
2.1. Цель испытаний на коррозионную стойкость	14
2.2. Лабораторная база/испытания	15
2.3. Полевые испытания на открытом воздухе	18
3. Решения компании Hilti в области антикоррозионной защиты	21
3.1. Коррозия и антикоррозионная защита углеродистой стали	22
3.2. Коррозионные свойства нержавеющей стали	25
3.3. Предотвращение гальванической коррозии	29
4. Оценка коррозионного воздействия конкретной среды/условий применения	31
4.1. Факторы, определяющие атмосферную коррозию	31
4.2. Оценка коррозионной активности для оцинкованных изделий	34
4.3. Оценка коррозионной активности для изделий из нержавеющей стали	36
5. Порядок выбора необходимых крепежных элементов и монтажных систем	39
5.1. Подбор необходимого антикоррозионного покрытия для анкеров, крепежных элементов для пороховых монтажных инструментов и шурупов	42
5.2. Подбор необходимого антикоррозийного покрытия гвоздей для работ по дереву	44
5.3. Выбор подходящей монтажной системы	45
6. Список используемой литературы	46
7. Заявление об ограничении ответственности	47

1. Теоретические основы коррозии

1.1. Что такое коррозия?

Коррозия — это физико-химическое взаимодействие между металлом и окружающей средой, приводящее к изменению свойств металла и, возможно, к значительному ущербу для металла, среды или технической системы, в которую они входят (см. стандарт ISO 8044:2010).

В контексте данного документа считается, что коррозия присутствует только в том случае, когда происходят изменения свойств металла или системы, которые могут привести к нежелательным последствиям. К таким последствиям относится как изменение только внешнего вида детали, так и полное разрушение системы, приводящее к значительному экономическому ущербу и даже представляющее опасность для людей.

Применительно к металлам, обычно используемым в машиностроении, то есть углеродистой стали, нержавеющей стали, цинку, меди и алюминию, стандартный процесс коррозии может рассматриваться как протекающая при благоприятных термодинамических условиях реакция, обратная процессу восстановления металла (см. рис.1).



Рис. 1. Химические реакции с участием железа в ходе коррозии и процесса восстановления металла.

Типы коррозионных реакций

Как и все химические реакции, процесс коррозии протекает в случае наличия соответствующих благоприятных условий (термодинамика). Кроме того, существуют другие факторы, влияющие на скорость реакции (кинетика). Обратите внимание, что говоря о видах коррозии, мы имеем в виду тип взаимодействия между металлом и окружающей средой, а говоря о формах коррозии, мы имеем в виду феноменологическое проявление.

Химическая реакция

Типичная реакция химической коррозии протекает при высоких температурах в тех случаях, когда металл взаимодействует с горячими газами и образует оксидную пленку.

Металлофизическая реакция

Примером данного вида коррозии является повышение хрупкости, вызванное диффузией водорода в металл, которое может привести к поломке детали. Повышение хрупкости может быть результатом небрежного производства, например, в тех случаях, когда нанесение покрытия на поверхность изделий из высокопрочной стали, например, электрохимическое цинкование проводится с нарушением технологии (первичное повышение хрупкости). Повышение хрупкости может быть также вызвано коррозионными процессами (растворение металла). В последнем случае происходит водородное растрескивание, вызванное коррозией (вторичное повышение хрупкости).

Электрохимическая реакция

Наиболее распространенной реакцией коррозии является электрохимическая реакция. В ходе таких реакций происходит обмен электронами в металле и ионами в проводящем электролите, например, таком, как водная пленка на поверхности металла.

В целом процесс можно разделить на две частичные реакции:

- Растворение металла, также называемое окислением или анодной реакцией

$$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^-$$
- Восстановление, или катодная реакция, в которой главным образом участвуют кислород воздуха и вода

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

Эти две частичные реакции могут протекать на поверхности металла с более или менее равномерным распределением, что приводит к равномерному разрушению (см. раздел 1.2.1), а также возникать на отдельных участках, что приводит к возникновению локальных форм коррозии, например, точечной коррозии.

Данный механизм и электрохимическая природа реакции коррозии определяют условия, необходимые для возникновения коррозии:

- наличие проводящего металла
- наличие электролита (достаточно и тонкого слоя жидкости на поверхности)
- наличие кислорода для катодной реакции.



Рис. 2. Условия протекания реакции атмосферной коррозии.

На рис. 2 изображен основной механизм коррозии железа под каплей воды. И растворение металла, и восстановление кислорода происходит почти на одном участке поверхности, а продукты реакции (ионы железа и гидроксид-ионы) вступают в реакцию в воде и образуют красную ржавчину. В общем и целом схема применима и для других металлов, например, для цинка и алюминия, но с незначительными отличиями в химической реакции, проходящей в электролите.

При помощи упрощенной модели реакции коррозии, показанной на рис. 3, мы можем объяснить возникновение многих форм коррозии, а также найти способы снижения ее интенсивности. Предотвращая или замедляя протекание одной из частичных реакций, мы можем замедлять протекание и общей реакции коррозии.

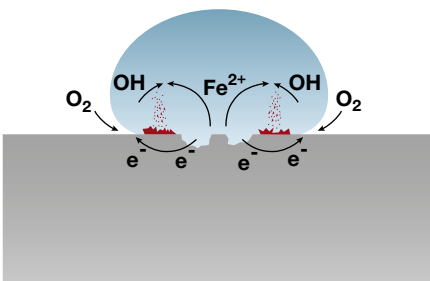


Рис. 3: Коррозия железа под каплей воды, демонстрация процессов растворения металла, восстановления кислорода и образования ржавчины.

1.2. Формы коррозии

1.2.1. Равномерная коррозия/неглубокая точечная коррозия



Равномерная коррозия – это форма коррозии, при которой поверхность металла разрушается практически равномерно. Частичные реакции (растворение металла и восстановление кислорода) статистически распределены по поверхности, что приводит к более или менее равномерному растворению металла и равномерному образованию продуктов коррозии (например, красной ржавчины на стали).

Степень данной формы коррозии, как правило, может быть легко оценена на основе предыдущих наблюдений. Скорость коррозии измеряется обычно в микрометрах в год (мкм/год). На основе этих средних величин можно определить расчетный срок службы детали и таким образом увеличить его, увеличивая толщину детали. Равномерная коррозия протекает, например, на поверхности незащищенной углеродистой стали и на поверхности оцинкованной стали при определенных атмосферных условиях.

На практике абсолютно равномерное коррозионное разрушение маловероятно. Всегда будут присутствовать участки, особенно на сложных металлических деталях, на которых коррозия будет протекать быстрее, чем на остальных, что приведет к образованию неровной поверхности и неравномерному распределению продуктов коррозии (см. рис. 4).



Рис. 4. Коррозия на изделиях из стали.

1.2.2. Точечная (питтинговая) коррозия



Рис. 5: Пример точечной коррозии на изделии из нержавеющей стали.



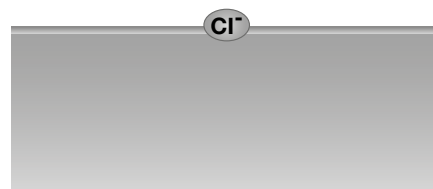
Точечная коррозия — это локальная форма коррозии, в результате которой в металле образуются небольшие отверстия или «язвы» (см. рис. 5). Данной форме коррозии подвержены в основном пассивные металлы. Пассивные металлы и сплавы, например, алюминий, титан и нержавеющая сталь, защищены от коррозии тонкой оксидной пленкой на поверхности, толщина которой составляет всего несколько нанометров. Процесс возникновения коррозии начинается в момент повреждения участка пассивного слоя. Местное коррозионное разрушение нержавеющей стали может быть вызвано, например, воздействием хлорид-ионов.

На рис. 6 изображены основные стадии данного коррозионного процесса на нержавеющей стали. Точечная коррозия может привести к серьезным проблемам. В отличие от равномерной коррозии, которая четко видна на поверхности, единственным признаком точечной коррозии являются только крошечные отверстия на поверхности. Количество металла, теряемого внутри этих отверстий, неизвестно, поскольку внутри детали могут образоваться скрытые полости, что затрудняет обнаружение и прогнозирование точечной коррозии. С технической точки зрения, практических способов контроля над точечной коррозией не существует. Возникновение данной формы коррозии необходимо исключать на начальной стадии при помощи конструкторских решений и использования соответствующих материалов.

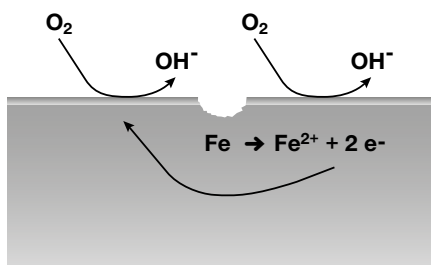
Кроме того, точечная коррозия зачастую может являться началом более серьезных форм коррозии, например, коррозионного растрескивания под напряжением (см. раздел «Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН)»).



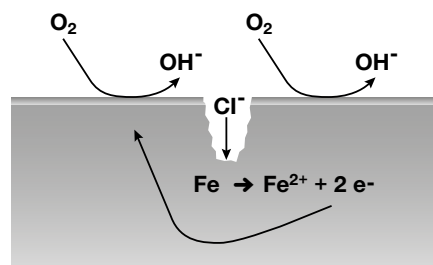
а. Нержавеющая сталь с пассивированной поверхностью.



б. Разрушение участка пассивированной поверхности под воздействие хлорид-иона.



в. Начало коррозии на активной (не пассивной) части поверхности



г. Анодная реакция растворения железа в язве, восстановление кислорода происходит снаружи.

Рис. 6. Фазы процесса точечной коррозии на изделии из нержавеющей стали.

1.2.3. Щелевая коррозия



Термином «щелевая коррозия» обозначается коррозия, возникающая в трещинах или щелях между двумя поверхностями (которые могут быть изготовлены как из одинакового металла, так и из разных металлов, и даже в том случае, если одна из поверхностей не является металлом). Данный вид коррозии возникает из-за затрудненного доступа кислорода воздуха посредством диффузии в область щели, что приводит к разным уровням концентрации растворенного кислорода в общем электролите (так называемой кислородной ячейке). В этом случае также происходят две частичные реакции на различных участках поверхности. Восстановление кислорода происходит на наружных участках, где концентрация кислорода выше и куда есть свободный доступ окружающего воздуха, а анодная реакция растворения металла происходит внутри щели, что приводит к локальному разрушению (например, образованию язв). Данный вид коррозии может также возникнуть на участках под шайбами и уплотняющими прокладками в том случае, если они не защищены от попадания воды (рис. 7). Существуют ограничения минимального и максимального размера трещины, при котором возможна коррозия. Если щель слишком узкая, то в нее не сможет проникнуть электролит, без которого коррозия невозможна. При слишком широкой щели доступ кислорода не ограничен, и кислородная ячейка не образуется и, соответственно, разность в концентрации кислорода не возникает. Однако конкретная ширина щели, при которой может возникнуть коррозия, зависит от нескольких факторов, например, типа используемых металлов, коррозионной среды и частоты смены среды с сухой на влажную и наоборот.

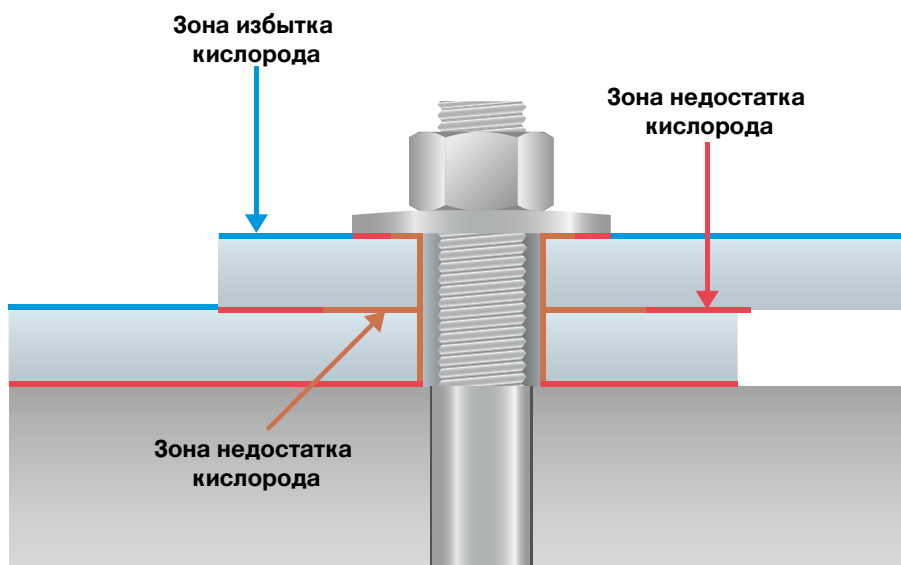
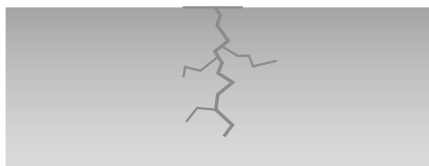


Рис. 7. Возможные участки образования щелевой коррозии на крепежных элементах.

1.2.4. Растрескивание, вызванное воздействием среды



Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН)

Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) – это сочетание механического и электрохимического коррозионных процессов, в результате которого происходит растрескивание определенных материалов. Это явление может привести к неожиданным и внезапным разрушениям из-за повышения хрупкости обычно пластичных металлов при напряжении гораздо ниже предела прочности. Внутреннее напряжение в материале может оказаться достаточно высоким для того, чтобы привести к возникновению коррозионного растрескивания под напряжением.

Коррозионное растрескивание под напряжением следует рассматривать не просто как сочетание коррозии и механического напряжения, а скорее, как аутокаталитический самоускоряющийся процесс, приводящий к высокой скорости растворения металла (анодная реакция). Изначально образуется небольшое язва, которая перерастает в трещину под действием приложенного или остаточного напряжения в материале. Образование трещины приводит к появлению новой активной (не пассивной) металлической поверхности, которая, в свою очередь, будет сильно подвержена коррозии. Это приводит к разрастанию трещины и появлению новых высокоактивных участков поверхности металла в трещине. Область растворения металла в трещине будет быстро распространяться до момента возникновения механического повреждения.

КРН – это особая форма коррозии, которая возникает только при одновременном выполнении трех разных условий (см. рис. 9).

Механическое воздействие (нагрузка, напряжение)

Материал (сплав, подверженный коррозии, например, аустенитная нержавеющая сталь)

Окружающая среда (высокоагрессивная среда, наличие хлоридов).



Рис. 9. Условия возникновения коррозионного растрескивания под напряжением.



Рис. 8. КРН на скобе из марки стали 1.4301 (A2, 304) после около 4 лет использования в закрытом плавательном бассейне.

Известно, что на деталях из некоторых марок аустенитной нержавеющей стали может образоваться коррозионное растрескивание под напряжением в случае их использования в неблагоприятных условиях, например, в закрытых плавательных бассейнах. В большинстве случаев коррозионные процессы начинаются в результате воздействия хлоридов на пассивный слой.

Водородное растрескивание

Причиной возникновения водородного растрескивания является диффузия атомов водорода в металл. Наличие водорода в кристаллической решетке ослабляет механическую целостность металла и приводит к разрастанию трещин и разрушениям из-за повышения хрупкости при напряжении гораздо ниже предела прочности. Как и коррозионное растрескивание под напряжением, данное явление может привести к внезапным поломкам металлических деталей без каких-либо видимых причин. В условиях обычных применений повреждения, вызванным диффузией водорода, подвержены только изделия из высокопрочной стали с пределом прочности на растяжение от 1000 Н/мм².

Как и в случае КРН, для возникновения данного явления требуется одновременное выполнение трех разных условий (см. рис. 10).

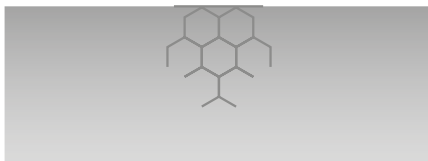
- Механическое воздействие (нагрузка, напряжение)
- Материал (высокопрочная сталь)
- Окружающая среда (агрессивная среда, хлориды)



Рис. 10. Условия возникновения водородного растрескивания.

Водород может попасть в металл во время производственного процесса, например, изготовления стали, протравливания и электролитического цинкования (первичный водород). Вторичным источником может быть водород, образовавшийся в ходе коррозионного процесса. В ходе коррозионного процесса образуется водород, проникающий внутрь материала. Попадание водорода приводит к снижению прочности или пластичности металла.

1.2.5. Межкристаллитная (межзеренная) коррозия



Межкристаллитная коррозия – это особая форма локальной коррозии, при которой коррозия происходит на очень узком участке, преимущественно расположенном вдоль границ зерен в структуре металла. Наиболее распространенным последствием данной формы коррозии является быстрое механическое разрушение (снижение пластичности) материала. Обычно возникновение данной формы коррозии можно предотвратить за счет использования соответствующих металлов и производственных процессов.

Широко известным примером данного явления в строительстве является так называемая сенсбилизация нержавеющей стали. При нагреве определенных марок данного материала до температуры от 500°C до 800°C в течение продолжительного времени, например, при сварке, образуются насыщенные хромом карбиды, что приводит к выделению хрома на границах зерен. В результате устойчивость к коррозии на границах зерен становится ниже, чем в остальной части материала, что приводит к локальному коррозионному разрушению (см. рис. 11).

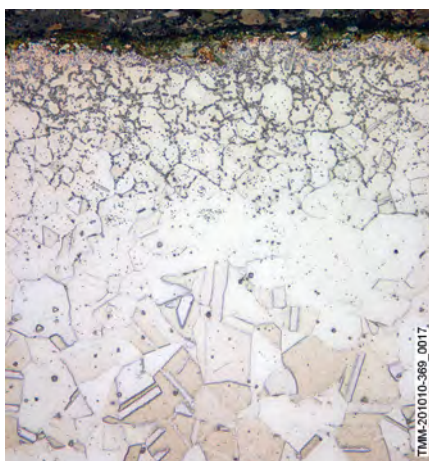
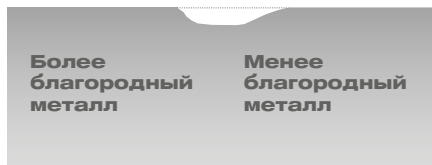


Рис. 11. Растрово-электронная микрофотография разрушающегося участка сварного шва на материале 1.4401 (A4, 316).

1.2.6. Гальваническая (контактная) коррозия



Гальваническая коррозия – это коррозионное повреждение, возникающее, когда два разнородных металла образуют электропроводящее соединение и соприкасаются с общим коррозионным электролитом. В электрохимической модели коррозии одна из двух частичных реакций (анодная реакция растворения металла и катодная реакция восстановления кислорода) протекает практически исключительно в одном из металлов.

В общем случае, менее благородный из двух металлов растворится (анодная реакция растворения металла), а более благородный металл не будет подвержен коррозии (он выступает только в качестве катода для восстановления кислорода).

При гальванической коррозии скорость коррозии менее благородного металла будет выше, чем у такого же металла в свободной корродирующей среде при отсутствии контакта с другим металлом.

Используя термодинамические данные и учитывая общий опыт, полученный в аналогичных ситуациях, возможно прогнозировать, какие сочетания материалов будут подвержены гальванической коррозии (см. раздел 3.3). Удачным примером использования явления гальванической коррозии, описанного в настоящем документе, является использование цинка для защиты углеродистых и низколегированных сталей. Цинк является менее благородным металлом и защищает сталь от коррозии, принимая ее на себя (см. рис. 12).



Рис. 12. Стандартный случай контактной коррозии. В данном соединении используется оцинкованная углеродистая сталь (шайба) и нержавеющая сталь (шуруп и деталь). Площадь поверхности более благородного металла (нержавеющей стали) больше, что приводит к возникновению сильной коррозии шайбы.

2. Методы оценки коррозионных характеристик и проверки продукции на соответствие техническим условиям компании Hilti

Компания Hilti проводит комплексные лабораторные и полевые испытания для оценки защиты своей продукции от коррозии. Благодаря собственным разработкам компания Hilti располагает широким спектром решений по защите от коррозии для различных условий окружающей среды.

Многие методы проверки коррозионной стойкости подходят только для отдельных металлов и основаны на условиях, преобладающих в определенных средах. На коррозионные свойства оказывает влияние множество факторов. Поэтому не существует единственного универсального метода испытания на коррозионную стойкость, которое учитывало бы все аспекты, связанные с используемыми материалами. Наиболее надежным индикатором коррозионных свойств является история эксплуатации, но такая информация не всегда бывает доступна, когда это необходимо. По этой причине требуются другие испытания, от ускоренных лабораторных до полевых. Кроме того, необходимо проводить испытания продукции в реальных условиях эксплуатации.

Поэтому антикоррозионная защита наших крепежных элементов также тестируется вместе с остальными элементами, устанавливаемыми на стальной или бетонной поверхности для имитации повреждений, которые могут произойти в ходе установки.

Испытания на коррозионную стойкость – это подходящий метод оценки новой продукции и сравнения ее с имеющимися системами защиты от коррозии. Однако такие испытания сами по себе не являются достаточными для подтверждения пригодности продукции для конкретного применения, поскольку коррозионная активность среды на разных объектах может сильно отличаться. В конечном итоге выбор соответствующей защиты от коррозии на основе подробной информации о применении, долгосрочного опыта и базовых знаний по данному вопросу является обязанностью пользователя.

2.1. Цель испытаний на коррозионную стойкость

Ускоренные лабораторные испытания на коррозионную стойкость являются последним достижением технологии в плане оценки характеристик материалов, поскольку они отражают унифицированные и воспроизводимые условия и позволяют провести оценку за короткий срок (от нескольких дней до нескольких недель). К числу основных областей применения данного типа испытаний относится контроль качества антикоррозийных покрытий. Для успешного прохождения процедуры контроля качества продукция должна продемонстрировать требуемую стойкость (например, в течение двух дней на ее поверхности не должна образовываться красная ржавчина). Кроме того, данный вид испытаний особенно полезен при разработке новой продукции, поскольку для данного процесса важнейшую роль играют отбор и классификация новых покрытий и материалов для новой продукции.

2.2. Лабораторная база/испытания

В собственных исследовательских лабораториях компании Hilti проводятся все самые необходимые из имеющихся лабораторных испытаний продукции компании на коррозионную стойкость (см. рис. 13).

Испытание при воздействии нейтрального соляного тумана: EN ISO 9227

Испытание в соляном тумане – одно из самых старых и распространенных ускоренных испытаний на коррозионную стойкость. Образцы подвергаются непрерывному воздействию соляного тумана, получаемого из пятипроцентного раствора хлорида натрия. Испытание в соляном тумане не характеризует непосредственно эффективность антикоррозионной защиты в реальных атмосферных условиях, поскольку в ходе испытания достигается очень высокая концентрация хлоридов и отсутствуют «сухие» периоды. Однако это практическое испытание, которое применяется преимущественно для квалификационных испытаний технологического процесса и приемки по качеству. Компания Hilti использует испытание в соляном тумане для проверки однородности цинкового покрытия крепежных элементов на этапе контроля качества при производстве (см. рис. 14 и 15).



Рис. 13. Лаборатория коррозионных испытаний компании, оборудованная камерами для проведения различных испытаний на коррозионную стойкость.

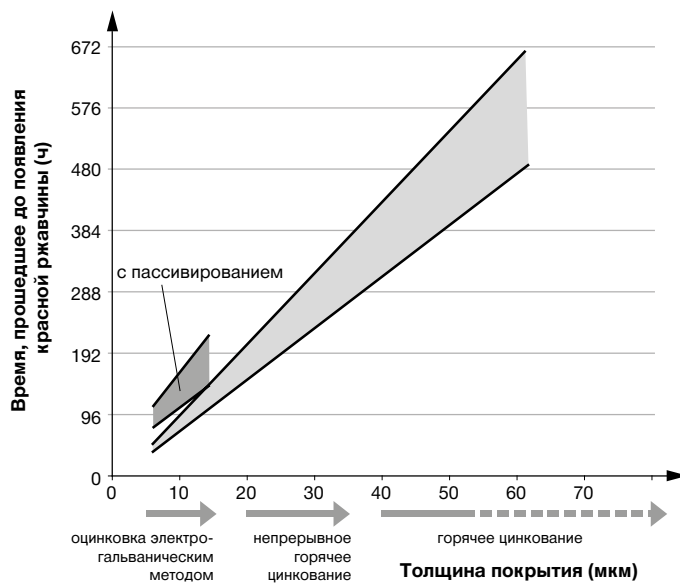


Рис. 15. Время, через которое обычно появляется красная ржавчина (начало коррозии основного металла – стали) при воздействии соляного тумана на оцинкованные изделия с различной толщиной покрытия.



Рис. 14: Шурупы, прошедшие оцинковку электрогальваническим методом с толщиной цинкового покрытия 5 мкм, после 48 часов (вверху) и 96 часов (внизу) нахождения в соляном тумане.

Циклическое испытание на коррозионную стойкость: EN ISO 16701

При проведении циклического испытания по стандарту EN ISO 16701 температура и относительная влажность изменяются для имитации циклической смены сухого и влажного воздействий, которая происходит в естественных условиях на открытом воздухе. Кроме того, образцы дважды в неделю опрыскиваются слабым (однопроцентным) раствором хлорида натрия для стимулирования коррозии. Несмотря на то, что такие испытания не позволяют в точности воспроизвести реальные атмосферные условия, благодаря циклической смене сухого и влажного воздействия и более низкой концентрации хлоридов данные испытания гораздо лучше подходят для запуска естественных коррозионных процессов, чем испытания в соляном тумане. Однако такие испытания занимают больше времени (несколько недель) (см. рис. 16 и 17).

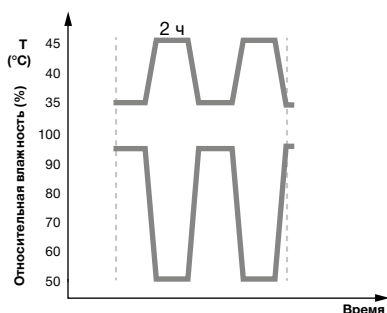


Рис. 16. Цикл смены температуры и влажности при циклических испытаниях на коррозионную стойкость по стандарту ISO 16701: дважды в неделю образцы опрыскивают однопроцентным раствором хлорида натрия три раза по 15 минут.

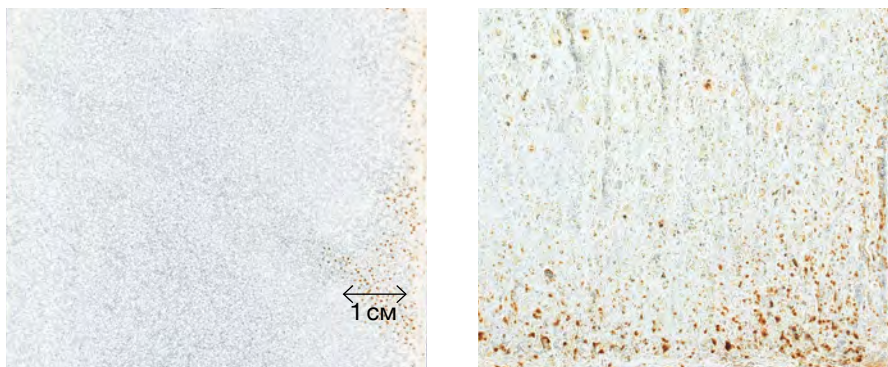


Рис. 17. Оцинкованная сталь (горячего цинкования) спустя один год использования в тропическом береговом климате (слева) и после двенадцати недель циклических испытаний на коррозионную стойкость по стандарту ISO 16701 (справа). В результате полевого испытания и циклического испытания на коррозионную стойкость наблюдались схожие коррозионные процессы.

Циклическое испытание на коррозионную стойкость с обработкой ультрафиолетовым излучением: ISO 20340

В ходе данного испытания образцы также подвергаются воздействию ультрафиолетового излучения. Оно совмещено с конденсацией влаги, воздействием хлоридов и отрицательных температур (см. рис. 19). Органические полимеры, например, краски и лаки, могут разлагаться под воздействием солнечных лучей. Соответственно, данное испытание проводится в основном на органических покрытиях (см. рис. 18). Помимо проверки коррозионной стойкости, данное испытание также используется для проверки износа изделий, чувствительных к УФ-излучению, например, деталей из пластмасс.



Рис. 18. Часть соединителя с многослойным покрытием (органическое ламельное покрытие) после десяти недель испытания по стандарту ISO 20340 с использованием УФ излучения.

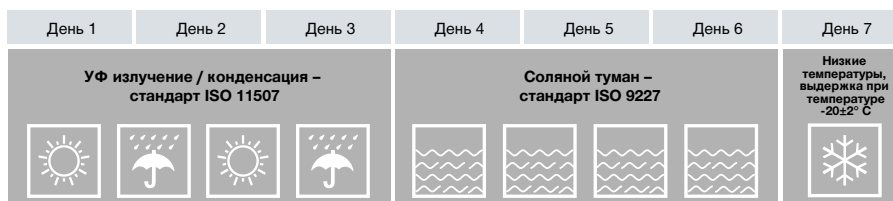


Рис. 19. Процедура циклического испытания на коррозионную стойкость в сочетании с воздействием УФ-излучения, соляного тумана и отрицательных температур по стандарту ISO 20340.

Испытание при повышенной влажности по стандарту EN ISO 6270 и тест Кестерниха (диоксид серы) по стандарту EN ISO 6988

Во время испытаний при повышенной влажности образцы помещаются в среду с относительной влажностью 100%. Данное испытание может проводиться в сочетании с использованием определенного количества сернистого газа. Это приведет к образованию высококоррозионной кислотной среды, что позволит симитировать высокий уровень промышленного загрязнения (см. рис. 20).

Электрохимические процессы

Поскольку в основе коррозии лежат электрохимические процессы, для исследования реакций коррозии в некоторых материалах полезным будет использовать электрохимические методы. Помимо оборудования для ускоренных испытаний на коррозионную стойкость, наша лаборатория обладает оборудованием для проведения электрохимических испытаний (потенциостат), которое используется в основном для исследования точечной коррозии и процессов репассивации в нержавеющей стали.

Лаборатория металлографических исследований

Ускоренные испытания на коррозионную стойкость и полевые испытания всегда должны сопровождаться различными аналитическими исследованиями, предназначенными для надлежащей интерпретации полученных результатов. В лаборатории металлографических исследований наша компания использует самые современные растровые электронные микроскопы (РЭМ) и методы элементного анализа для подробного изучения нашей продукции (см. рис. 21, 22 и 23).



Рис. 20: Шурупы с многослойным покрытием с повышенной устойчивостью к коррозии после проведения испытания на коррозионную стойкость с использованием диоксида серы в течение 15 циклов (признаки коррозии отсутствуют).



Рис. 21. Растровый электронный микроскоп (РЭМ).

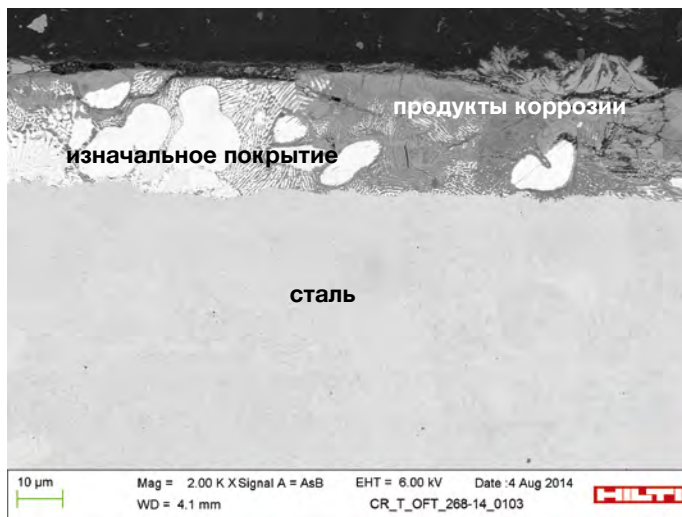


Рис. 22. Металлографическое исследование поперечного сечения покрытия цинковым сплавом после использования в береговой климатической зоне в течение трех лет, проведенное при помощи растрового электронного микроскопа.



Рис. 23. Оборудование лаборатории металлографических исследований (шлифовальные и полировальные установки).

2.3. Полевые испытания на открытом воздухе

Наиболее точно качество антикоррозионной защиты изделий можно оценить благодаря испытаниям образцов и продукции в реальных естественных атмосферных условиях. Для этого компания Hilti проводит многочисленные непрерывные полевые испытания своей продукции на различных объектах во всем мире в различных условиях, от умеренно-холодного климата до тропического и от береговых до промышленных зон и даже на морских объектах (см. рис. 24).

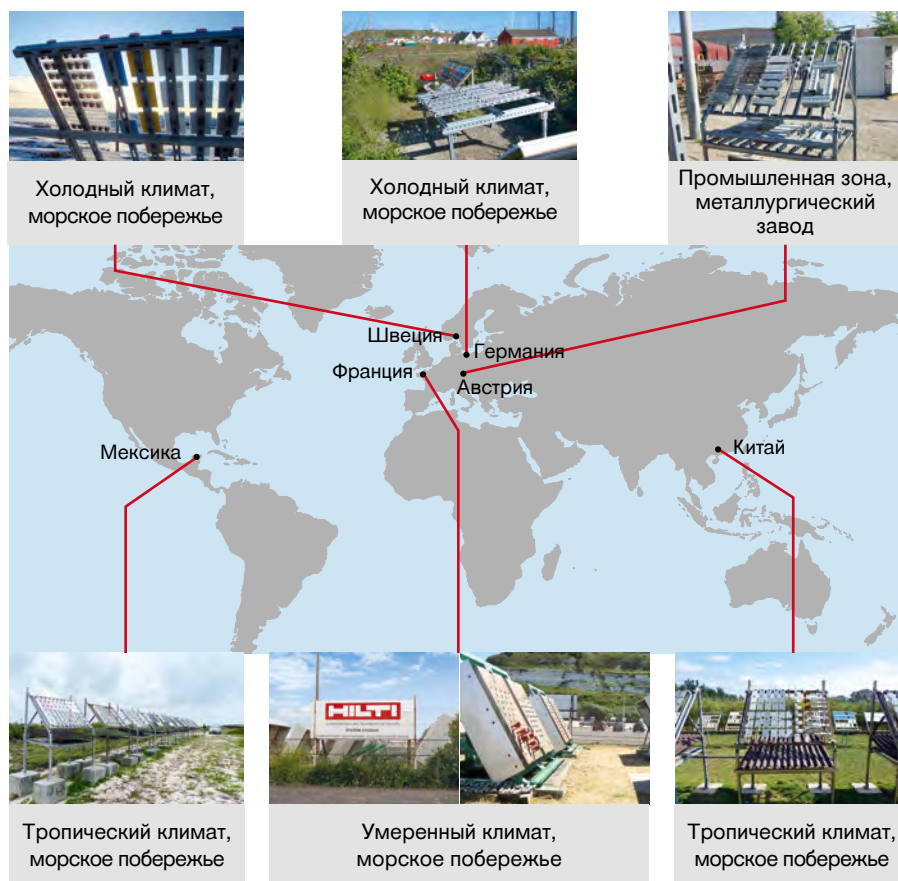


Рис. 24. Местонахождение различных площадок, на которых проводятся полевые испытания продукции компании Hilti.

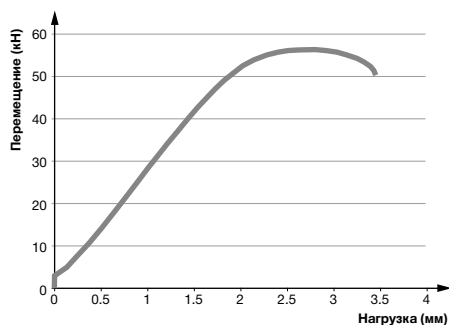


Рис. 25. Стандартный график зависимости «нагрузка-перемещение» для установленного анкера после 16 лет воздействия на него климата морского побережья.

Площадка около Гавра на атлантическом побережье Франции используется компанией Hilti с 80-х гг. XX века. На данной площадке наша компания не только изучает коррозионные свойства наших крепежных изделий, но и оценивает их долгосрочную работоспособность. Крепежные элементы, в частности анкеры, заделываются в бетон. После определенного периода времени производится измерение значения остаточной нагрузки при помощи испытаний на вырыв (см. рис. 25).

С начала 80-х гг. XX века и до 2005 года компания Hilti также проводила масштабные исследования коррозионных свойств различных материалов, применявшихся в строительстве автодорожных тоннелей, расположенных в альпийском регионе. Эти долгосрочные наблюдения позволили нашей компании повысить эксплуатационные характеристики нашей продукции в высококоррозионной среде и таким образом предложить нашим клиентам эффективные крепежные системы, подходящие для использования в данных условиях окружающей среды. Было доказано, что высоколегированная нержавеющая сталь 1.4529 (высококоррозионностойкая сталь) является материалом, не подверженным коррозии. Результаты данных исследований также повлияли на пересмотр стандартов и правил, используемых в отношении продукции и крепежных элементов из нержавеющей стали, используемых в строительстве тоннелей (см. рис. 26).



Рис. 26. Автодорожные тоннели представляют собой очень агрессивную коррозионную среду (по причине использования противообледенительного состава и наличия выхлопных газов от проезжающих транспортных средств).

Крепежные и монтажные элементы компании Hilti – не единственная продукция компании, подвергающаяся тщательным испытаниям. Электроинструменты марки Hilti также проходят множество проверок работоспособности в типовых коррозионных условиях. За счет этого достигается высокая производительность даже в самых жестких условиях окружающей среды (см. рис. 27).

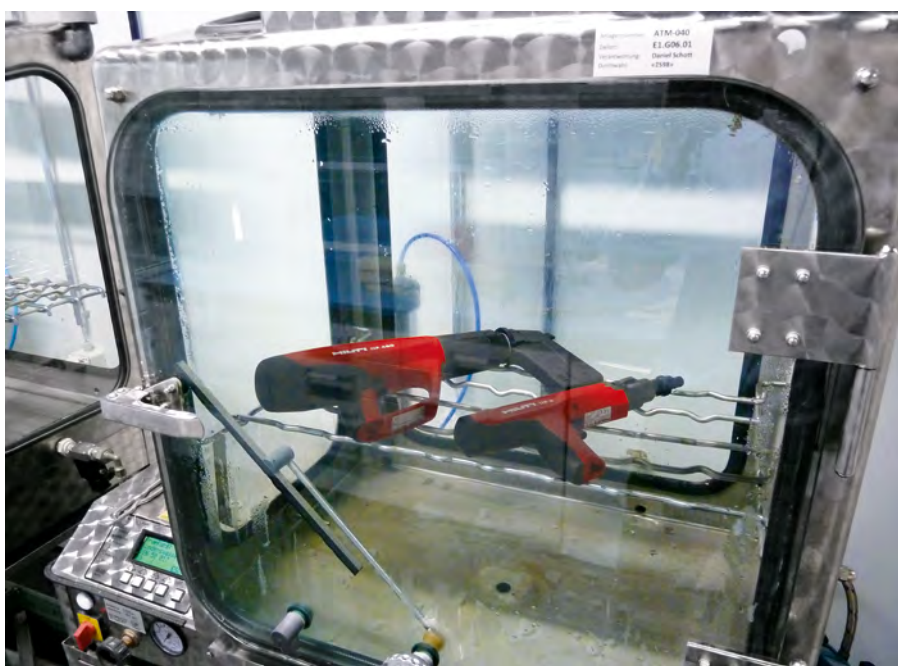


Рис. 27. Монтажные инструменты в камере с регулируемой влажностью воздуха.

3. Решения компании Hilti в области антикоррозионной защиты

В данном разделе описаны решения в области антикоррозионной защиты, применяемые в продукции компании Hilti, их стандартные коррозионные свойства и пригодность для определенных видов применения.

Классификация мер по защите от коррозии



В таблице ниже приведен обзор антикоррозионных покрытий, используемых в продукции компании Hilti.

Таблица 1. Антикоррозионные покрытия, используемые в продукции Hilti

Решения компании Hilti по антикоррозионной защите углеродистой стали	Толщина покрытия	Примеры изделий
Фосфатирование		Шурупы
Электролитическое цинкование	От 5 до 20 мкм	Гвозди, анкеры, шурупы
Непрерывное горячее цинкование	От 35 до 100 мкм	Монтажные профили
Непрерывное горячее цинкование / гальванизация по методу Сендзимира	От 20 до 40 мкм	Анкерный болт, монтажные профили
Диффузионное цинкование/ термическая диффузия	До 45 мкм	Анкеры
Многослойное покрытие (цинковое покрытие и дополнительное органическое покрытие, например, краска)		Анкеры и монтажные детали

3.1. Коррозия и антикоррозионная защита углеродистой стали

Использование нелегированной стали (то есть малоуглеродистой или углеродистой стали), из которой производится большая часть крепежной и монтажной продукции нашей компании, требует применения антикоррозионной защиты. В большинстве сред скорость коррозии углеродистой стали (обычно около 20 мкм в год (мкм/год) в сельской местности на открытом воздухе и до 100 мкм/год в прибрежных районах) обычно является слишком высокой, и достижение удовлетворительных результатов при использовании данного материала невозможно. При разработке продукции потеря основного материала обычно не учитывается. Поэтому компания Hilti предлагает широкий спектр подходящих и рациональных решений по антикоррозионной защите изделий из углеродистой стали.

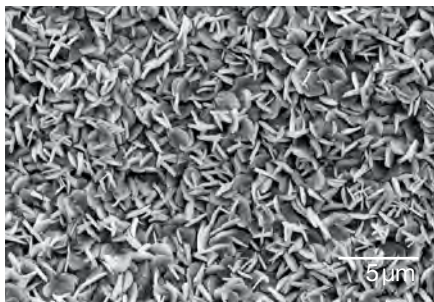


Рис. 28. Кристаллы фосфатов на стальной поверхности при 3000-кратном увеличении (изображение получено при помощи растрового электронного микроскопа).

Однако в щелочной среде железо и сталь обычно сохраняют стабильность. Это объясняет, например, тот факт, что арматура, изготовленная из углеродистой стали, уже достаточно защищена от коррозии в щелочной среде окружающего ее бетона.

Фосфатирование

Описание процесса	Сталь помещается в кислый раствор, содержащий металлофосфатные соли (цинка, железа). Раствор вступает в реакцию с поверхностью стали, образуя микрокристаллический слой фосфатов на поверхности (см. рис. 28). Это приводит к образованию шероховатой поверхности, обладающей превосходной маслоудерживающей способностью.
Коррозионные свойства и дополнительная информация	Масло, наносимое на изделия для обеспечения антикоррозионной защиты, остается на поверхности в течение времени, достаточного для обеспечения защиты во время обычной транспортировки и незначительного повышения общей антикоррозионной защиты. Такие изделия могут использоваться только в сухих помещениях. Компания Hilti использует фосфатирование для обработки шурупов для гипсокартона.

Цинковые покрытия

Использование цинка — это отличный способ антикоррозионной защиты углеродистой стали. Существует несколько способов нанесения цинковых покрытий на различные стальные детали, от небольших шурупов до профилей, длина которых достигает нескольких метров.

Скорость коррозии цинка более чем в 10 раз ниже скорости коррозии стали и составляет около 0,5 мкм/год в сельской местности и в городе, до 5 мкм/год в прибрежных районах. На рис. 28 продемонстрирован обычный срок службы оцинкованной стали в различных условиях.

Низкие скорости коррозии достигаются за счет образования стабильных слоев продуктов коррозии, содержащих карбонаты (полученных из углекислого газа, присутствующего в воздухе) и хлориды (в случае их наличия в атмосфере). В условиях, в которых образование данных нерастворимых продуктов коррозии невозможно, скорость коррозии будет гораздо выше, а, следовательно, целесообразность использования цинка в качестве защитного покрытия окажется под вопросом. К таким условиям относятся постоянно влажные среды или среды с высокой концентрацией промышленных отходов, например, диоксида серы. В данных средах образуются по большей части растворимые продукты коррозии, которые могут быть смыты дождем. Помимо замедленной скорости коррозии, цинк также обеспечивает катодную, или протекторную защиту находящейся под ним стали. В случае образования царапин, сколов или других повреждений цинкового покрытия, приводящих к вскрытию участков стали, возникает особая форма гальванической коррозии (см. раздел 1.2.6). Коррозионному воздействию подвергается преимущественно цинк, поскольку он является менее благородным металлом, чем сталь, и таким образом обеспечивается защита оголенных участков стали.

В ходе атмосферной коррозии цинковое покрытие разрушается довольно равномерно. Соответственно, увеличение толщины покрытия в два раза для данного применения приведет к увеличению в два раза времени, требуемого для разрушения цинка и появления красной ржавчины на стали.

Цинк нестабилен в щелочной среде и легко разрушается в растворах с pH от 10 и выше. Аналогично, на рабочей площадке следует избегать разлива и попадания агрессивных строительных материалов, например, цемента и жидкого бетона на оцинкованные детали.



Рис. 29. Стандартный срок службы оцинкованной стали в различных условиях.

Электролитическое цинкование

Описание процесса	Через водный раствор, содержащий ионы цинка, пропускается электрический разряд, что приводит к отложению цинка на стальной основе. Перед этим детали обычно очищают и протравливают, а после отложения цинка деталь подвергается пассивированию. Этот способ отлично подходит для защиты деталей с резьбой, поскольку он позволяет добиться однородного и плотного покрытия.
Толщина покрытия	Толщина покрытия составляет от 5 до 15 мкм.
Коррозионные свойства и дополнительная информация	Из-за невысокой максимальной толщины покрытия изделия с гальваническим цинковым покрытием, не имеющие дополнительной антикоррозионной защиты, следует использовать только в сухих помещениях. Использование гальванизации также позволяет наносить на изделие покрытие из сплавов цинка, например, ZnNi. Электролитическое цинкование может приводить к поглощению водорода. Высокопрочные крепежные элементы марки Hilti, например, гвозди для прямого монтажа, проходят температурную обработку (в течение 24 часов при температуре 180 °C) после электролитического цинкования для удаления водорода.

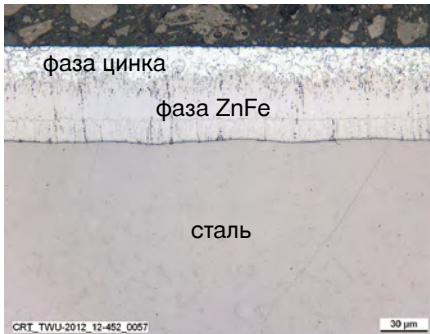


Рис. 30. Микрофотография горячеоцинкованной стали.



Рис. 31. Коричневые разводы на оцинкованном стальном профиле, прошедшем испытание в соляном тумане со временем выдержки 200 часов. Коррозия стали отсутствует.

Горячее цинкование

Описание процесса	В ходе данного процесса стальные детали помещаются в емкость с расплавленным цинком. При помощи данного способа можно нанести покрытие на крупные детали размером до нескольких метров. После горячего цинкования мелкие детали, например, болты и анкера, обрабатываются на центрифуге для удаления цинка из резьбы.
Толщина покрытия	Обычно толщина покрытия составляет от 35 до 100 мкм, в зависимости от толщины материала и состава стали. Цинкование обычно занимает несколько минут.
Коррозионные свойства и дополнительная информация	Расплавленный цинк вступает в реакцию со стальной основой и образует слой сплава ZnFe, покрытый слоем чистого цинка (см. рис. 30). Продукты коррозии на деталях, прошедших горячее цинкование, имеют коричневый оттенок по причине наличия железа в цинковом покрытии. Однако это не является признаком коррозии стальной основы (см. рис. 31).

Непрерывное горячее цинкование / гальванизация по методу Сендзимира

Описание процесса	В ходе данного процесса листовой металл в бухтах очищается, подвергается отжигу (термическая обработка) и затем протягивается через чан, наполненный расплавленным цинком. В чане с цинком содержится небольшое количество алюминия. Алюминий вступает в реакцию с поверхностью стали и образует так называемый ингибиторный слой толщиной в несколько нанометров, который замедляет образование фазы ZnFe. Покрытие в основном состоит из чистого цинка.
Толщина покрытия	Толщина покрытия составляет от 10 до 70 мкм с обеих сторон листа и регулируется за счет удаления лишнего цинка при помощи струи воздуха.
Коррозионные свойства и дополнительная информация	Помимо покрытия из чистого цинка, непрерывное горячее цинкование позволяет получать покрытия из сплавов цинка, например, ZnAl и ZnAlMg. Обычно покрытия содержат 2-4% алюминия или магния и обладают повышенной устойчивостью к коррозии, которая примерно в два раза выше, чем у цинкового покрытия аналогичной массы.

Диффузионное цинкование / термическая диффузия

Описание процесса	Диффузионное цинкование – это способ нанесения цинкового покрытия при помощи термической диффузии. Стальные детали помещаются в чан, в котором находится порошок цинка, и нагреваются до температуры свыше 320° С. Цинк не находится в жидком состоянии, и покрытие образуется за счет термической диффузии порошка цинка в стальные детали.
Толщина покрытия	Толщина покрытия может достигать 45 мкм.
Прочие особенности	Данные покрытия состоят в основном из сплава ZnFe, который обеспечивает надежную защиту от коррозии, сопоставимую по эффективности с защитой, обеспечиваемой методом горячего цинкования. Даже в случае со сложными деталями с резьбой данный процесс позволяет получать прочное и равномерное покрытие.

Многослойные покрытия

В тех случаях, когда антикоррозионной защиты, обеспечиваемой металлическим покрытием, недостаточно, дополнительная защита деталей обеспечивается при помощи дополнительных покрытий, в основном органической краски с металлическими частицами или без них.

Примером такого метода является многослойное покрытие на крепежных элементах, состоящее из слоя сплава цинка, нанесенного методом гальванизации, и дополнительного верхнего слоя органического покрытия (см. рис. 32).

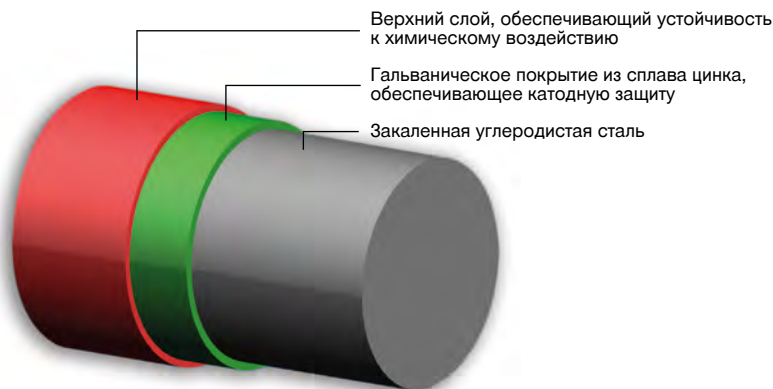


Рис. 32: Изображение многослойного покрытия на крепежных элементах и соединителях.

3.2. Коррозионные свойства нержавеющей стали

Сталь с добавлением не менее 10% хрома называется нержавеющей. Добавление хрома приводит к образованию стабильного и очень тонкого (несколько нанометров) оксидного слоя (пассивирующего слоя) на поверхности металла. Поэтому нержавеющая сталь не подвергается коррозии, и на ней не появляются разводы при контакте с водой, в отличие от углеродистой стали.

Однако при определенных обстоятельствах пассивирующий слой может разрушиться, что приведет к возникновению местной формы коррозии, например, точечной (см. 1.2.2). Точечная коррозия, которая является основной формой коррозии, возникающей на нержавеющей стали, не позволяет точно рассчитать срок службы изделия, в отличие от изделий с цинковыми покрытиями. В общем случае, для каждого конкретного применения необходимо выбирать марку нержавеющей стали, которая бы сохраняла стабильность и не подвергалась коррозии в соответствующих условиях окружающей среды.

Устойчивость нержавеющей стали к точечной коррозии может быть примерно оценена при помощи показателя «PREN» (числовой эквивалент стойкости к точечной коррозии). Показатель PREN зависит от химического состава стали и учитывает количество содержащегося в стали хрома, молибдена и азота. В научной литературе встречаются различные методы расчета данного показателя. Наиболее часто используются следующие формулы:

$$\text{PREN} = \%Cr + 3,3 \times \%Mo$$

(для нержавеющей сталей с содержанием молибдена менее 3%)

$$\text{PREN} = \%Cr + 3,3 \times \%Mo + 30 \times \%N$$

(для нержавеющей сталей с содержанием молибдена равным или более 3%)

Другой опасной формой коррозии, характерной для нержавеющей стали, является коррозионное растрескивание под напряжением.

Аустенитная нержавеющая сталь предрасположена к данной форме коррозии в определенных агрессивных средах, например, в закрытых плавательных бассейнах. В таких случаях необходимо использовать марки нержавеющей стали, обладающие высокой устойчивостью к коррозии, например, марку стали с содержанием молибдена от 6% и выше.

Подробная информация о выборе марок нержавеющей стали приведена в разделе 4.

Марки нержавеющей стали

Существует множество марок нержавеющей стали с различными уровнями стабильности. Наиболее распространенной является марка стали, содержащая 18% хрома и 10% никеля (см. рис. 33). Увеличение или уменьшение содержания определенных элементов в стали изменяет ее коррозионные, механические или некоторые технологические свойства, например, свариваемость. Значительное снижение содержания никеля приведет к тому, что легированная фаза более не будет являться исключительно аустенитной и будет сочетать в себе аустенитные и ферритные фазы (дуплексная нержавеющая сталь).

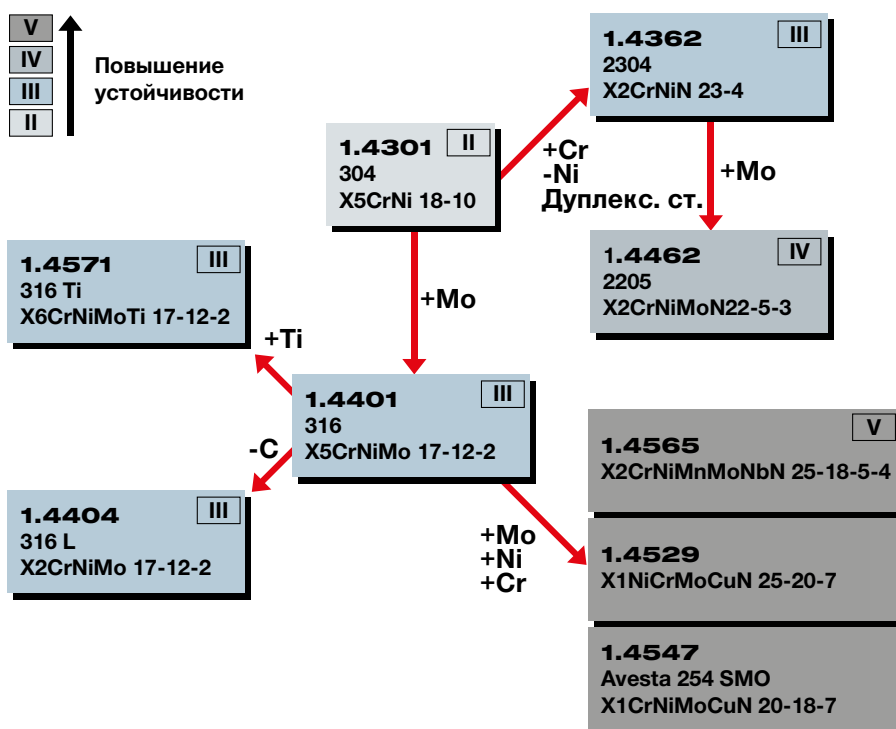


Рис. 33. Классификация основных марок нержавеющей стали.

Маркировка нержавеющей стали

На рис. 33 изображены три основные системы маркировки марок нержавеющей стали:

Номер материала

Описание

Система нумерации материалов по стандарту EN 10088-1:2014 используется в нескольких странах. Номер материала является пятизначным числом, например, 1. 4404.

Первая цифра 1 означает сталь, вторая и третья цифры 44 означают химически стойкие стали, содержащие молибден и не содержащие ниобия или титана.

Помимо числа 44 для маркировки нержавеющей сталей используются следующие обозначения:

«41» = содержит молибден, не содержит ниобий и титан, содержание никеля менее 2,5 %

«43» = не содержит молибден, содержит ниобий и титан, содержание никеля равно или более 2,5%

«44» = содержит молибден, не содержит ниобий и титан, содержание никеля равно или более 2,5%

«45» = без дополнительных элементов

Последние две цифры 04 обозначают конкретный сплав.

Система маркировки AISI (например, 316)

Описание

Система маркировки Американского института черной металлургии («American Iron and Steel Institute», AISI) используется во всем мире. Маркировка включает число, к которому могут быть добавлены буквенные обозначения, в зависимости от состава стали.

200 – используется для обозначения аустенитной стали, содержащей хром, никель и марганец;

300 – используется для обозначения аустенитной стали, содержащей хром и никель;

400 – используется для обозначения ферритных и мартенситных хромистых марок стали

Буквенные обозначения (некоторые из которых приведены ниже) обозначают следующее:

L = малоуглеродистый сплав

Ti = сплав содержит титан

Для маркировки недавно разработанных марок дуплексной нержавеющей стали используются четырехзначные числа (например, числом 2205 обозначается сталь марки 1.4462).

Сокращенное наименование марки стали

Описание



X = высоколегированный сплав

2 = содержание углерода в сотых долях процента, в данном случае: содержание углерода равно 0,02%

Cr = содержание хрома, в данном случае 17%

Ni = содержание никеля, в данном случае 12%

Mo = содержание молибдена, 2%

Маркировка стали, указанная в данном примере, соответствует маркировке 316 L по системе AISI и маркировке DIN 1.4404.

Обозначения V2A и V4A – маркировка согласно стандарту EN ISO 3506-1:2009

Описание

Обозначения V2A и V4A стали использоваться более чем 100 лет назад и были введены для обозначения первых пробных марок нержавеющей стали. «V» означает «Versuch», в переводе с немецкого «тестирование» или «испытание», а «A» означает аустенитную сталь. V2A означает сплав CrNi, а V4A означает сплав CrNiMo. Данные обозначения по-прежнему используются для обозначения нержавеющей стали в некоторых странах.

Стандарт EN ISO 3506-1:2009 (механические свойства крепежных изделий, болтов, шурупов и заклепок из коррозионноустойчивой нержавеющей стали) использует маркировки с A1 по A5 для обозначения аустенитной нержавеющей стали. Данные маркировки обозначают разные составы сплава, а не коррозионные свойства. Например, марка 1.4401 относится к группе A4, а марка 1.4571 – к группе A5. Однако обе марки нержавеющей стали обладают практически одинаковой устойчивостью к коррозии.

Зачастую обозначения A2 и A4 используются для группы марок нержавеющей сталей, обладающих определенной устойчивостью к коррозии. Однако это не совсем точно, поскольку данные обозначения не позволяют получить информацию о составе сплава и, соответственно, о некоторых свойствах материала, например, свариваемости.

3.3. Предотвращение гальванической коррозии

Гальваническую коррозию (см. раздел 1.2.6) можно предотвратить посредством выбора правильных сочетаний материалов. Однако это не всегда представляется возможным и иногда требуется принять другие меры. Одной из таких мер является гальваническое разделение различных материалов, как показано на рис. 34.



Рис. 34. Условия предотвращения гальванической коррозии при сочетании различных металлов.

Для сведения гальванической коррозии к минимуму разница в свободном коррозионном потенциале должна быть минимальной, и/или отношение площади поверхности менее благородного металла к площади поверхности более благородного должно быть очень высоким. Свободный коррозионный потенциал зависит от стандартного электродного потенциала, заданной термодинамической величины для каждого металла и коррозионной среды.

На рис. 35 указаны свободные коррозионные потенциалы различных металлов при погружении в морскую воду. Чем выше потенциал, тем благороднее металл. Контакт с металлом, имеющим меньший потенциал, приводит к гальванической коррозии такого менее благородного металла.

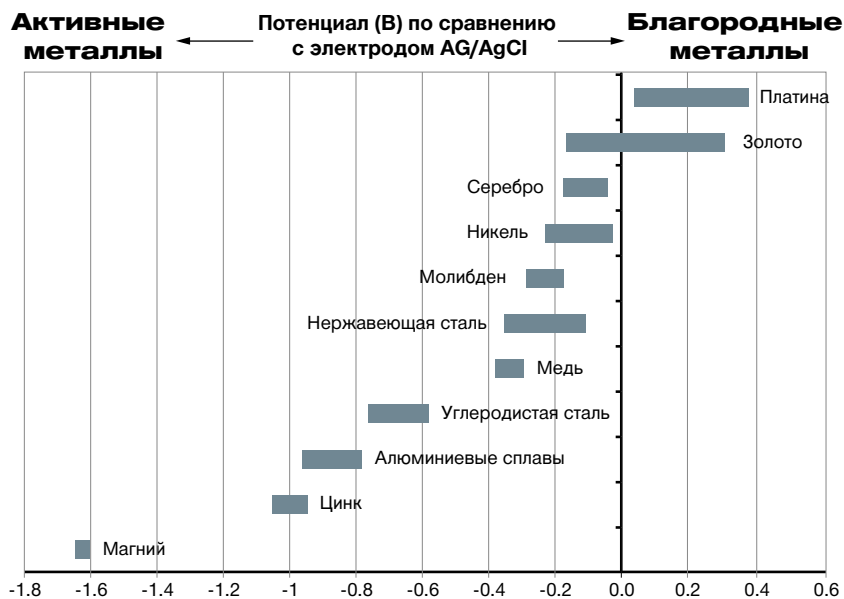


Рис. 35. Коррозионный потенциал различных металлов в морской воде.

Согласно общепринятым правилам крепежные элементы должны изготавливаться из того же металла, что и закрепляемая деталь, или более благородного металла, поскольку площадь поверхности крепежного элемента обычно меньше, чем площадь поверхности детали, а также по причине того, что поломка крепежного элемента обычно представляет большую опасность.

В таблице 2 описано воздействие гальванической коррозии в атмосферных условиях на открытом воздухе для различных сочетаний металлов.

Таблица 2. Влияние гальванической (контактной) коррозии на срок службы крепежного элемента

Закрепляемая деталь (большая площадь)	Крепежный элемент (малая площадь)			
	Электро- гальванизи- рованная сталь	Дуплексная углеродистая сталь	Горячеоцинко- ванная сталь	Нержавеющая сталь
Электрогальванизи- рованная сталь	□	□	□	□
Горячеоцинкованная сталь	□	□	□	□
Алюминий	■	■	■	□
Строительная сталь	■	■	■	□
Нержавеющая сталь (CrNi или CrNiMo)	■	■	■	□
Олово	■	■	■	□
Медь	■	■	■	□
Латунь	■	■	■	□

- Срок службы не изменяется
- Умеренное влияние на срок службы, допустимо во многих случаях
- Значительное влияние на срок службы

В **сухих помещениях** контактной коррозией можно пренебречь, и обычно сочетания материалов, подверженные такой коррозии, в данных условиях не используются. В большинстве случаев использования сочетаний металлов в помещениях или на открытом воздухе следует учитывать общие рекомендации и ограничения, касающиеся определенных материалов. Например, скорость гальванической коррозии цинка, контактирующего с алюминием, обычно очень низка. Однако толщина покрытия на гальванически оцинкованных крепежных элементах обычно слишком мала, что не позволяет использовать их на открытом воздухе в случае наличия высоких требований к сроку службы.

В таблицах для подбора материалов, приведенных в разделе 5, учет гальванической коррозии осуществляется при помощи двух различных строк для закрепляемых деталей (разделенных на строки «сталь», «алюминий» и «нержавеющая сталь»).

4. Оценка коррозионного воздействия конкретной среды/условий применения

В следующем разделе описаны способы оценки коррозионной активности некоторых сред. Параметры, влияющие на уровень коррозионной активности, могут быть измерены только специалистами, работающими непосредственно на конкретном объекте.

Соответственно, окончательное решение относительно выбора материала и продукции является обязанностью пользователя и/или составителя спецификации. Несмотря на то, что компания Hilti может предоставить Вам всю необходимую основную информацию о нашей продукции, проведение полной всеобъемлющей проверки ожидаемой коррозионной активности для данного применения невозможно.

4.1. Факторы, определяющие атмосферную коррозию

В определенных условиях коррозионная активность и, соответственно, скорость коррозии изделий из стали и цинка может быть оценена в том случае, если известны атмосферные условия, типовые для данного применения (см. рис. 36).



Рис. 36. Факторы, определяющие атмосферную коррозию.

Важные факторы, влияющие на атмосферную коррозию:

Температура	
Общее воздействие	Повышение температуры приводит к ускорению химической реакции и, соответственно, к ускорению коррозии. Это особенно верно для сред с постоянным уровнем относительной влажности.
Дополнительная информация	С другой стороны, при повышении температуры мокрые поверхности быстрее высыхают, а скорость коррозии снижается. При отрицательных температурах коррозией можно пренебречь. Таким образом, влияние температуры на коррозионную стойкость может быть как положительным, так и отрицательным.
Примеры	В схожих средах, например, в приморских районах, для которых обычно характерна высокая влажность, повышение средней температуры приводит к ускорению коррозии. В результате для береговых и прибрежных областей в тропических климатических зонах характерна более высокая скорость коррозии, чем для аналогичных областей в более холодных регионах.
Влажность	
Общее воздействие	Атмосферная коррозия возникает только в случае наличия на поверхности металла тонкой пленки влаги. При отсутствии влаги большинство загрязняющих веществ будет обладать незначительным или нулевым коррозионным эффектом. Период наличия влажной пленки на поверхности также называется периодом увлажнения поверхности. Согласно общепринятым правилам и стандарту ISO 9223:1998, период увлажнения поверхности определяется как период времени, при котором величина относительной влажности превышает 80%. Данная величина является приблизительной, поскольку образование влажной пленки на поверхности также зависит от наличия гигроскопичных солей (например, продуктов коррозии или солевых отложений). Поэтому конденсация влаги в приморских районах с повышенным содержанием хлоридов происходит при более низкой относительной влажности. При расчете скорости коррозии по стандарту ISO 9223:2012 учитывается только средняя величина влажности за один год (см. 5.1).
Дополнительная информация	Наличие воды в виде осадков (дождь) не всегда приводит к ускорению коррозии. Напротив, дождь может замедлить коррозию за счет удаления хлоридов и загрязнений. Однако в обычно сухих средах со слабой коррозионной активностью дождь может послужить источником влаги, необходимой для начала коррозионной реакции.
Примеры	В сельских/городских условиях коррозия деталей, защищенных от попадания влаги, протекает медленнее, чем коррозия частей, не защищенных от дождя. С другой стороны, отсутствие омывающего эффекта дождей в прибрежных районах зачастую приводит к более сильной коррозии.

Хлориды	
Общее воздействие	<p>Высокое содержание соли в воздухе заметно ускоряет коррозию.</p> <p>Хлориды оказывают многостороннее негативное воздействие на коррозионную стойкость металлов. Это воздействие включает, в частности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Снижение границы насыщения: наличие солей способствует конденсации при более низкой относительной влажности. В результате этого периоды увлажнения поверхности на металлических поверхностях становятся более длительными. • Образование растворимых продуктов коррозии: растворенные ионы металла образуют хлориды металла, которые обычно не обеспечивают достаточной защиты от дальнейшей коррозии. • Разрушение пассивного слоя: хлориды воздействуют на оксидную пленку, образовавшуюся на пассивированных металлах, например, нержавеющей стали и алюминии.
Дополнительная информация	<p>Коррозионные свойства конкретного металла в атмосфере, содержащей хлориды, в значительной степени зависят от способности данного металла образовывать стабильные и нерастворимые продукты коррозии при наличии хлоридов. Например, такая ситуация возникает при использовании цинка, что объясняет тот факт, что скорость коррозии у цинка гораздо ниже, чем у стали.</p>
Примеры	<p>В морском воздухе основным источником хлоридов является морская вода. В нем содержится, в основном, хлорид натрия (более 90% всех солей), а также хлорид кальция и хлорид магния. Основным техногенным источником хлоридов является использование противообледенительных составов на дорогах в зимний период.</p>

Диоксид серы	
Общее воздействие	<p>Из всех атмосферных загрязняющих веществ, образующихся в результате таких промышленных процессов, как сжигание топлива и выплавка металлов, диоксид серы имеет наиболее важное значение по концентрации и влиянию на скорость коррозии. Газообразный диоксид серы, присутствующий в атмосфере, приводит к повышению кислотности электролита на поверхности металлов, что приводит к образованию растворимых продуктов коррозии. В результате скорость коррозии многих металлов, например, цинка, стали, алюминия и нержавеющей стали, увеличивается.</p>
Дополнительная информация	<p>В большей части промышленно развитых стран выбросы диоксида серы в настоящий момент снижаются, во многих городских и даже промышленных зонах концентрация этого вещества достигла незначительного уровня (ниже 10 мкг/м³ или ниже). Однако в мире по-прежнему существуют сильно загрязненные области с высокой температурой, в которых при выборе материалов следует учитывать увеличение скорости коррозии, вызываемое наличием оксида серы SO₂.</p>
Примеры	<p>Согласно стандарту ISO 9223:2012, область с содержанием SO₂ в атмосфере свыше 50 мкг/м³ (средняя годовая величина) считается сильно загрязненной.</p>

4.2. Оценка коррозионной активности для оцинкованных изделий

В следующем разделе описываются способы оценки и расчетов ожидаемой коррозии в данной среде для оцинкованных изделий. Следует отметить, что данные методы применяются только в отношении исключительно атмосферной коррозии в тех случаях, когда изделие полностью подвергается атмосферным воздействиям. Виды применений, в которых, например, изделие контактирует с почвой, погружается в морскую воду или находится в зоне забрызгивания, не рассматриваются, как и дополнительное воздействие в результате гальванической коррозии, эрозии или взаимодействия с химическими веществами. Расчет коррозионной активности для каждого применения может проводиться двумя разными способами согласно стандарту ISO 9223:2012 (см. рис. 37).

1. Оценка коррозионной активности при помощи классификации по стандарту ISO 9223:1998 или функциональной зависимости «доза-ответная реакция», приведенной в новой версии стандарта (ISO 9224:2012).
2. Расчет посредством проведения испытания материала/изделия, подлежащего использованию, на воздействие внешней среды в течение одного года и измерения скорости коррозии.

Для большинства проектов проведение испытания на воздействие внешней среды в течение одного года не является практически осуществимым и, следовательно, оценка является наиболее часто используемым способом. Для проведения оценки в качестве исходных данных используется информация об основных климатических параметрах и параметрах окружающей среды. К этим показателям относятся, в частности, средняя температура, средняя относительная влажность, отложения хлоридов и концентрация диоксида серы.

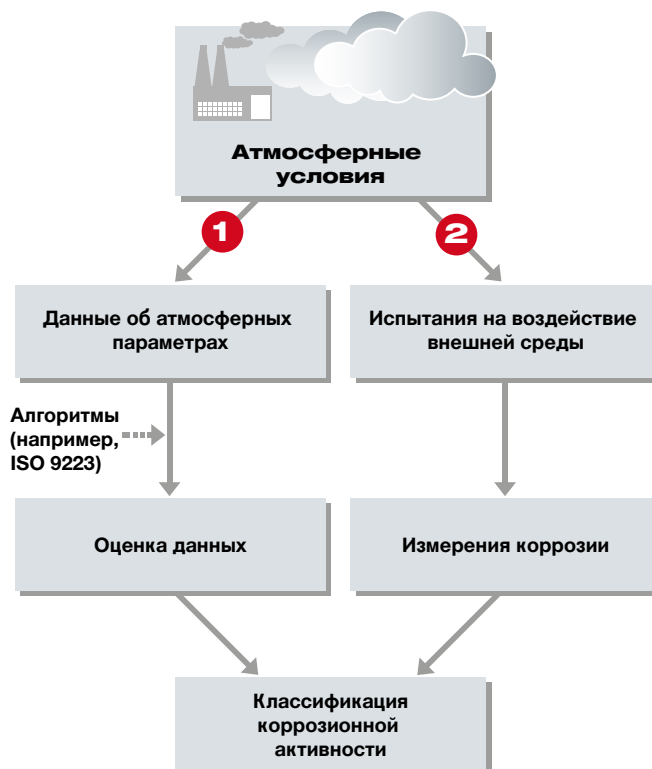


Рис. 37. Методы оценки атмосферной коррозионной активности.

В результате использования этого подхода исследователи получают расчетную скорость коррозии цинка или стали для данной среды. На основе полученной скорости коррозии определяется общая категория коррозионной активности (класс C, см. таблицу 3).

Как указано в стандарте, возможная погрешность при использовании данных об окружающей среде и функциональной зависимости «доза-ответная реакция» может достигать 50%. Следует отметить, что данные результаты действительны только для макроклиматических условий и в случае полной незащищенности изделия.

Кроме того, такие факторы, как накопление коррозионных веществ и гальваническая коррозия, которые оказывают значительное влияние на скорость коррозии, в данном подходе не учитываются. Тем не менее, в случае отсутствия этих прочих потенциальных источников коррозии результаты расчетов обычно являются достаточно точными и могут быть использованы для выбора требуемого материала.

Коррозия – это естественный процесс, на который влияют различные природные факторы, которые не могут быть предусмотрены на весь расчетный срок службы изделия. Поэтому во всех случаях рекомендуется использовать традиционный подход при использовании крепежных и монтажных изделий.

Таблица 3: Категории коррозионной активности и описание типовых сред согласно стандарту ISO 9223.

Коррозионная активность категории C	Степень коррозии	Типовая среда	
		Внутри помещений	На открытом воздухе
C1	Очень низкая	Обогреваемые помещения с низкой относительной влажностью и незначительной степенью загрязнения, например, офисы, школы, музеи.	Сухая или холодная зона, с очень низким уровнем загрязнения и продолжительностью сохранения влажности, например, некоторые пустыни, Центральная Арктика, Антарктика.
C2	Низкая	Необогреваемые помещения с меняющейся температурой и влажностью. Низкая частота образования конденсата и низкий уровень загрязнения, например, складские помещения, спортзалы.	Умеренная зона с низким уровнем загрязнения (содержание оксида серы SO ₂ менее 5 мкг/м ³), например, сельские местности, небольшие города. Сухая или холодная зона с небольшой продолжительностью сохранения влажности, например, пустыни, субарктическая зона.
C3	Средняя	Пространства со средней частотой образования конденсата и средним уровнем загрязнения в результате производственных процессов, например, предприятия пищевой промышленности, прачечные, пивоваренные заводы, молочные заводы.	Умеренная зона со средним уровнем загрязнения (содержание оксида серы SO ₂ от 5 мкг/м ³ до 30 мкг/м ³) или некоторым количеством хлоридов, например, городские зоны, приморские районы с низким уровнем отложения хлоридов. Субтропическая и тропическая зона с низким уровнем загрязнения.
C4	Высокая	Пространства с высокой частотой образования конденсата и высоким уровнем загрязнения в результате производственных процессов, например, промышленные обрабатывающие заводы, плавательные бассейны.	Умеренная зона с высоким уровнем загрязнения (содержание оксида серы SO ₂ от 30 мкг/м ³ до 90 мкг/м ³) или существенным количеством хлоридов, например, загрязненные городские зоны, промышленные зоны, береговые районы с отсутствием брызг соленой воды или сильного воздействия противообледенительных составов. Субтропическая и тропическая зона со средним уровнем загрязнения.
C5	Очень высокая	Места с очень высокой частотой образования конденсата и очень высоким уровнем загрязнения в результате производственных процессов, например, шахты, каверны, используемые в промышленных целях, невентилируемые помещения в субтропических и тропических зонах.	Умеренная и субтропическая зона с очень высоким уровнем загрязнения (содержание оксида серы SO ₂ от 90 мкг/м ³ до 250 мкг/м ³) и/или значительным количеством хлоридов, например, промышленные зоны, прибрежные районы, защищенные места на побережье.
CX	Наивысшая	Места с постоянной конденсацией или длительными периодами воздействия экстремальной влажности и/или высоким уровнем загрязнения в результате производственных процессов, например, невентилируемые помещения во влажных тропических зонах, в которые проникают загрязнители, включая находящиеся в воздухе хлориды и аэрозольные частицы, стимулирующие коррозию.	Субтропическая и тропическая зона (с очень высоким периодом увлажнения поверхности) с очень высоким содержанием оксида серы SO ₂ (свыше 250 мкг/м ³), включая дополнительные и производственные факторы и/или сильное воздействие хлоридов, например, промышленные зоны с очень высоким уровнем загрязнения, прибрежные и морские зоны, периодический контакт с соляным туманом.

В данной таблице приведена характеристика возможных сред, относящихся к каждой категории коррозионной активности. Несмотря на то, что данные характеристики могут использоваться для определения класса коррозионной активности для конкретного применения, необходимо помнить о том, что точное следование стандартам подразумевает определение класса коррозионной активности на основе измерений скорости коррозии или наиболее важных показателей окружающей среды. Кроме того, в таблице рассмотрены только типовые атмосферные условия.

Скорости коррозии стали, цинка, алюминия и меди для каждого класса коррозионной активности приведены в стандарте ISO 9223.

4.3. Оценка коррозионной активности для изделий из нержавеющей стали

Строго говоря, категории коррозионной активности (классы C), указанные в стандарте ISO 9223, могут использоваться только для цинка, углеродистой стали, алюминия и меди. Поскольку механизм коррозии нержавеющей стали отличается от других металлов, необходимо использовать систему классификации, отличную от той, которая используется для цинка. Вообще, нержавеющая сталь устойчива к воздействию влажности и воды при условии отсутствия корродирующих загрязняющих веществ. Однако разрушение пассивированного слоя такими веществами, как хлориды, ограничивает возможности использования некоторых марок нержавеющей стали, и его следует учитывать особо.

В отличие от цинка, воздействие исключительно влажности при отсутствии прочих загрязняющих веществ не оказывает существенного влияния на коррозионную стойкость нержавеющей стали. В случае с нержавеющей сталью большее значение имеет учет воздействия хлоридов и смывание продуктов коррозии и корродирующих веществ дождевой водой. Во многих видах применения наличие дождей позволяет использовать менее устойчивые марки нержавеющей стали. Например, для кровель и фасадов зданий и сооружений. Однако в типовых условиях применения крепежных и монтажных элементов могут присутствовать участки, защищенные от дождя.

Международные (Еврокод 3, предварительная версия EN 1993-1-4) и национальные стандарты и правила (например, немецкое техническое свидетельство DIBt Z.30.3-6) обычно используются вместе с особой балльной системой оценки пригодности определенных марок нержавеющей стали.

Данная система учитывает риски, представленные основными факторами, и позволяет рассчитать на их основе показатель коррозионной стойкости (ПКС).

Каждый фактор риска (наличие хлоридов, наличие диоксида серы, омывающий эффект) оценивается определенным количеством баллов.

ПКС зависит от условий окружающей среды и рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{ПКС} = F1 + F2 + F3$$

где

- F1 – риск воздействия хлоридов, содержащихся в морской воде или противобледенительных составах (возможные значения: от +1 до -15, зависит, в основном, от расстояния до побережья или дорог, обрабатываемых противобледенительными составами)
- F2 – риск воздействия оксида серы; (возможные значения: от 0 до -15, зависит от средней концентрации диоксида серы)
- F3 – режим очистки или возможность омывания дождевой водой. (возможные значения: от +1 до -7)

Все факторы суммируются, и в результате получается число (ПКС), на основе которого определяется один из пяти классов коррозионной стойкости (см. таблицу 4). Это только упрощенная версия процедуры, более подробно она описана в соответствующих стандартах.

Таблица 4. Перечень марок нержавеющей стали, соответствующих каждому из классов коррозионной стойкости, составленный на основе таблиц, приведенных в стандарте EN 1993-1-4:2006 (окончательный вариант редакции 2014 года).

Класс коррозионной стойкости ККС (на основе показателя коррозионной стойкости ПКС)				
I	II	III	IV	V
ПКС = 1	$0 \geq \text{ПКС} > -7$	$-7 \geq \text{ПКС} > -15$	$-15 \geq \text{ПКС} \geq -20$	ПКС < -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		

Крепежные элементы и монтажные системы компании Hilti изготавливаются из таких марок стали, как 1.4301, 1.4404 и наиболее устойчивой марки 1.4529 (см. таблицу 5), что позволяет охватить все важные классы коррозионной стойкости.

Таблица 5. Примеры марок нержавеющей стали, используемых в продукции компании Hilti

Марки стали	Класс коррозионной стойкости	Изделия
1.4301 (A2, 304)	II	Шурупы, анкера, монтажные изделия
1.4401 (A4, 316)	III	Шурупы, анкера, монтажные изделия, крепежные элементы для пороховых или газовых инструментов
1.4404 (A4, 316L)	III	Шурупы, анкера, монтажные профили, крепежные элементы для пороховых или газовых инструментов
1.4571 (A5, 316Ti)	III	Монтажные изделия
1.4362 (дуплексная, 2304)	III	Крепежные элементы для пороховых или газовых инструментов
1.4462 (дуплексная, 2205)	IV	Крепежные элементы для пороховых или газовых инструментов
1.4529 (высокопрочная антикоррозийная сталь)	V	Анкеры

Более подробная информация о марках нержавеющей стали, используемых в продукции нашей компании, доступна в каталогах продукции и на сайте www.hilti.ru.

5. Порядок выбора необходимых крепежных элементов и монтажных систем

Информация о таблице критериев выбора

Компания Hilti предлагает крепежные элементы и монтажные системы, изготовленные из широкого спектра подходящих и рентабельных материалов. Однако различия в коррозионных свойствах, сложность факторов, влияющих на коррозионные процессы, и количество национальных и международных стандартов и правил, действующих в данной области, может усложнить процесс выбора надлежащего материала для конкретного применения.

В целях первоначального общего ознакомления с эксплуатационными характеристиками различных изделий таблицы, составленные нашей компанией, содержат данные по общей пригодности материалов и, если это применимо, приблизительный расчет срока службы изделий в некоторых стандартных средах.

В разделе «Примечания» содержится информация, которая должна учитываться при использовании данных таблиц:

Примечания






Окончательное решение относительно требуемой антикоррозионной защиты принимается клиентом. Компания Hilti не несет ответственности по пригодности конкретного изделия для конкретного применения даже в том случае, если компания располагает данными о соответствующих условиях.

Таблицы составлены на основе среднего срока службы в типовых применениях. Для металлических покрытий, например, цинковых, моментом окончания срока службы является момент образования красной ржавчины на большей части поверхности продукции и момент возникновения вероятности обширных нарушений структуры, то есть первые следы ржавчины могут появиться раньше. Национальные и международные нормы, стандарты и правила, рекомендации для клиентов и/или конкретных областей промышленности должны рассматриваться и оцениваться отдельно. Настоящие рекомендации применимы только к атмосферной коррозии. Особые виды коррозии, например, щелевая коррозия и водородное растрескивание должны оцениваться отдельно.

Таблицы, приведенные в настоящем справочнике, содержат только общие рекомендации для наиболее распространенных применений и стандартных условий окружающей среды. Пригодность для конкретного применения может во многом зависеть от особых местных условий, в частности:

- повышенной температуры и влажности;
- высокого уровня загрязняющих веществ в воздухе;
- прямого контакта с корродирующими веществами, например, с присутствующими в некоторых видах химически обработанного дерева, сточных водах, добавках к бетону, моющих средствах и т.д.;
- прямого контакта с почвой, стоячей водой;
- наличия электрического тока;
- контакта с разнородными металлами;
- наличия ограниченных пространств, например, щелей;
- физических повреждений или износа;
- особо высокой коррозионной активности, вызванной суммарным воздействием;
- других факторов.

В следующей таблице приведено более подробное описание условий окружающей среды, указанных в других таблицах. Перечислены также основные категории коррозионной активности и классы коррозионной стойкости.

		Категории коррозионной активности по стандарту ISO 9223:2012	Класс коррозионной стойкости Нержавеющая сталь
Внутренние применения			
	Отапливаемые помещения (обогреваемые или кондиционируемые помещения) без конденсации, например, офисные строения, школы	C1, C2	1
	Неотапливаемые помещения с временной конденсацией (необогреваемые помещения, не содержащие загрязняющих веществ), например, складские навесы	C1, C2	1
Наружные применения			
	Открытые пространства в сельской или городской местности с низким уровнем загрязнения Большое расстояние (>10 км) до моря	C2, C3	2
	Открытые пространства в сельской или городской местности со средней концентрацией загрязняющих веществ и/или солей, содержащихся в морской воде. Расстояние до моря: 1-10 км	C2, C3, C4	2,3
	Приморские районы Расстояние до моря менее 1 км	C3, C4, C5, CX	3,4
	Открытые пространства с высоким уровнем промышленного загрязнения. Расстояние до заводов менее 1 км (например, предприятий нефтехимической и угольной промышленности)	C4, C5, CX	3,4
	Вблизи дорог обрабатываемых противообледенительными составами Расстояние до дорог менее 10 м	C3, C4, C5	3,4
Особые применения			
	Особые применения Пространства, для которых характерны особые коррозионные условия, например, дорожные тоннели, обрабатываемые противообледенительными составами, закрытые плавательные бассейны попадают в область особого применения, связанного с химической промышленностью (возможны исключения).	Классы C не включают особые климатические условия	4,5

Таблицы для подбора крепежных элементов, гвоздей по дереву и монтажных систем

Крепежные элементы, например, анкеры, гвозди и шурупы, зачастую используются для соответствующего требованиям безопасности и одноточечного крепежа. По причине низкой или ограниченной видимости крепежных элементов после установки, отсутствия возможности их ремонта или замены, труднодоступности в месте приложения нагрузок, а также в просверленном отверстии (в случае использования распорных анкеров), в качестве общей рекомендации необходимо использовать консервативный метод подбора крепежных материалов для сведения к минимуму вероятности коррозии. В случае с оцинкованными крепежными элементами окончанием срока службы такого элемента является момент начала износа стали, защищенной покрытием. Поэтому в таблице для подбора крепежных элементов не указывается срок службы изделия, а приводится общая рекомендация в зависимости от срока службы здания, указанного в рекомендациях по утверждению, например, 25 или 50 лет. См. сноски к таблице критериев подбора для получения подробной информации. Крепежные элементы часто становятся частью конструкции здания, поэтому их срок службы должен равняться расчетному сроку службы здания.

Срок службы вспомогательных конструкций, например, **монтажных опор**, зачастую не обязательно должен совпадать со сроком службы основных конструкций, поскольку инженерное обеспечение зданий и сооружений подразумевает более частые замены и модификации.

Кроме того, использование монтажных профилей зачастую позволяет проводить ремонтные работы или мероприятия по продлению срока службы деталей посредством, например, нанесения цинкового спрея. При условии надлежащей оценки коррозионной активности окружающей среды, включающей учет расчетного срока службы и проведение регулярных инспекций и ремонтных работ, изделия из углеродистой стали с покрытием могут надлежащим образом и без убытков использоваться для широкого спектра применений в различных условиях.

В случае с оцинкованными монтажными системами и гвоздями по дереву начало коррозии стальной основы не приводит к немедленному возникновению проблем в плане механической целостности. Появление красной ржавчины примерно на 5% поверхности считается признаком окончания периода защиты, обеспечиваемой цинковым покрытием. Таким образом, мы можем установить рекомендуемый диапазон ожидаемого срока службы для конкретной среды.

Европейский технический сертификат – металлические анкеры для бетона

Согласно текущему Европейскому техническому сертификату (ETA) анкеры для наружного применения обычно должны изготавливаться из нержавеющей стали третьего класса коррозионной стойкости (класс A4). В случае применения анкеров в особых условиях, например, автодорожных тоннелях и закрытых плавательных бассейнах, необходимо использовать марку стали на класс выше (класс IV или V). Это делается для того, чтобы предоставить пользователю практические рекомендации по подбору необходимого материала для наружных применений. Целью подхода с использованием ETA является устранение потребности в подробной оценке окружающей среды и применения в случае точного следования ETA (подразумевается, что проблемы, связанные с неатмосферной коррозией, отсутствуют).

Пользователю, например, не придется проводить оценку воздействия хлоридов на строительной площадке, вызванную расположением вблизи морской воды или использованием противобледенительных составов.




Однако в том случае, если воздействием хлоридов можно пренебречь, пользователь может не придерживаться строго спецификации ETA. С технической точки зрения анкеры, изготовленные из горячеоцинкованной стали или нержавеющей стали второго класса коррозионной стойкости (класс A2), пригодны для использования на открытом воздухе с определенными ограничениями срока службы и области применения. Данное положение основано на длительном опыте использования данных материалов. Необходимо отметить, что для этого требуется проведение особой оценки и понимание специфики применения и окружающей среды (см. следующие таблицы).









5.1. Подбор необходимого антикоррозионного покрытия для анкеров, крепежных элементов для пороховых монтажных инструментов и шурупов

Для того чтобы крепежные элементы идеально подходили для данного применения и обеспечивали надежность в течение всего срока службы, все факторы воздействия должны быть выявлены до выбора подходящих крепежных элементов.

В следующей таблице приведены общие рекомендации для наиболее распространенных видов применения крепежных элементов. Требуемая антикоррозионная защита для каждого крепежного материала выбрана с учетом типовых атмосферных условий (см. примечания).

Анкеры, крепежные элементы для пороховых монтажных инструментов и шурупы

Пример продукции	Анкеры		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
								
	Шурупы	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	
	Крепежные элементы для пороховых монтажных инструментов		X-ENP ¹⁾ , X-U X-GHP, X-GN	X-FCM-M, X-GR			X-BT, X-BT-ER, X-CR, X-FCM-R	По запросу
	Покрытие/материал	Фосфатирующая или нефосфатирующая углеродистая сталь	Электрогальванизованная сталь	Дуплексная углеродистая сталь	Сталь горячего цинкования/диффузионного цинкования с толщиной покрытия 45-50 мкм	A2 AISI 304	A4 AISI 316	Коррозионно-стойкая сталь, например, 1,4529

Условия размещения	Закрепляемая деталь							
 Отопляемые помещения	Сталь (оцинкованная, окрашенная), алюминий, нержавеющая сталь	■	■	■	■	■	■	■
 Неотопляемые помещения с временной конденсацией	Сталь (оцинкованная, окрашенная), алюминий	-	-	■	■	■	■	■
	Нержавеющая сталь			-	-			
 Открытые пространства с низким уровнем загрязнения	Сталь (оцинкованная, окрашенная), алюминий	-	-	□ ²⁾	□ ²⁾	■ ²⁾	■	■
	Нержавеющая сталь			-	-			
 Открытые пространства со средним уровнем загрязнения	Сталь (оцинкованная, окрашенная), алюминий	-	-	□ ²⁾	□ ²⁾	■ ²⁾	■	■
	Нержавеющая сталь			-	-			
 Приморские районы	Сталь (оцинкованная, окрашенная), алюминий, нержавеющая сталь	-	-	-	-	-	■	■
 Открытые пространства с высоким уровнем промышленного загрязнения	Сталь (оцинкованная, окрашенная), алюминий, нержавеющая сталь	-	-	-	-	-	■	■
 В непосредственной близости от дорог	Сталь (оцинкованная, окрашенная), алюминий, нержавеющая сталь	-	-	-	-	-	■	■
 Особые применения		Проконсультируйтесь с экспертом						■

- = ожидаемый срок службы анкеров, изготовленных из данного материала, обычно является достаточным для указанной среды, что определяется на основе ожидаемого срока службы здания. Согласно нормам Европейской технической аттестации расчетный срок службы для анкеров для работ по бетону составляет 50 лет, элементов прямого монтажа, шурупов для работ по стали и многослойным панелям — 25 лет, шурупов для изоляционных материалов плоских крыш — 10 лет.
- = следует учитывать снижение ожидаемого срока службы крепежных элементов, не изготовленных из нержавеющей стали, в данных атмосферных условиях (≤ 25 лет). Для повышенных сроков службы требуется провести дополнительную оценку.
- = крепежные элементы, изготовленные из данного материала, не подходят для использования в указанной среде. Для всех исключений требуется провести дополнительную оценку.










- 1) Для высокопрочных крепежных элементов для сайдинга и профлистов, изготовленных из лектрогальванизированной стали, например X-ENP, допускается воздействие окружающей среды в течение срока до 6 месяцев (см. инструкции для получения подробной информации).
- 2) С технической точки зрения, горячее цинкование и дуплексные покрытия, а также материалы A2/304, пригодны для использования на открытом воздухе с определенными ограничениями срока службы и области применения. Данное положение основано на многолетнем опыте использования данных материалов. Скорость коррозии цинка, приведенная в стандарте ISO 9224:2012 (категории коррозионной активности, классы C), таблица критериев подбора марок нержавеющей стали, используемая в национальном техническом сертификате, выданном одобрением DIBt Z.30.3-6 (апрель 2014 года), или отчеты ICC-ES об оценке наших анкеров KB-TZ, предназначенных для использования в Северной Америке (например ESR-1917, май 2013 года), являются результатом данного опыта. Однако Европейский технический сертификат (ETA) анкеров в настоящий момент не распространяется на использование данных материалов вне помещений. В нем указано, что анкеры из гальванизированной углеродистой стали или нержавеющей стали марки A2 могут использоваться исключительно в предназначенных для эксплуатации сухих помещениях, исходя из предположения, что срок службы анкера составляет 50 лет.

Анкерный профиль производства компании Хилти (Hilti) (HAC) изготавливается из горячеоцинкованной стали по стандарту E ISO 1460:2009-10. Особые болты HBC доступны в вариантах из электрогальванизированной стали, горячеоцинкованной стали и стали A4. Профили HAC могут использоваться вместе с болтами HBC в сочетании с любым материалом в сухих помещениях по стандарту ETA-11/0006 (от 28 февраля 2012 года). Если болты HBC изготовлены из горячеоцинкованной стали, они могут использоваться и в помещениях с временной конденсацией.

5.2. Подбор необходимого антикоррозийного покрытия гвоздей для работ по дереву

Дерево может обладать коррозионными свойствами по причине наличия в нем органических кислот. При подборе антикоррозийного покрытия гвоздей помимо атмосферных условий необходимо учитывать коррозионную активность дерева.

В следующей таблице приведены общие рекомендации для наиболее распространенных случаев применения гвоздей в типовых условиях размещения типа соединения дерево-дерево.

Гвозди для работ по дереву Hilti GX-WF	Категории обслуживания согласно стандарту EN 1995 (Еврокод 5)	Категория обслуживания 1	Категория обслуживания 2	Категория обслуживания 3		
				А2 ¹⁾ AISI 304	А4 AISI 316	
Покрытие/материал		Фосфатированная или нефосфатированная углеродистая сталь	Электрогальванизованная сталь	Сталь горячего цинкования с толщиной покрытия 45-50 мкм		
						
Условия размещения		Срок службы, лет				
	Отапливаемые помещения	от 20 до 50	до 50	до 100	■	■
	Неотапливаемые помещения с временной конденсацией	–	от 10 до 50	от 60 до 100	■	■
	Открытые пространства с низким уровнем загрязнения	–	от 5 до 20	от 40 до 100	■	■
	Открытые пространства со средним уровнем загрязнения	–	от 2 до 10	от 20 до 40	■	■
	Приморские районы	–	менее 5	от 10 до 30	–	■
	Открытые пространства с высоким уровнем промышленного загрязнения	–	менее 5	от 10 до 30	–	■
	В непосредственной близости от дорог	–	–	–	–	■
	Особые применения	Проконсультируйтесь с экспертом				

В вышеприведенной таблице указаны типовые расчетные сроки службы, определенные с учетом коррозионных процессов. Прочие факторы, влияющие на срок службы крепежных элементов, должны определяться отдельно.

- = ожидаемый срок службы гвоздей, изготовленных из данного материала, обычно является достаточным для указанной среды. Ожидаемый срок службы гвоздей обычно определяется на основе ожидаемого срока службы здания.
- = гвозди, изготовленные из данного материала, не подходят для данной среды, либо типовой срок службы строения не может быть достигнут при их использовании.

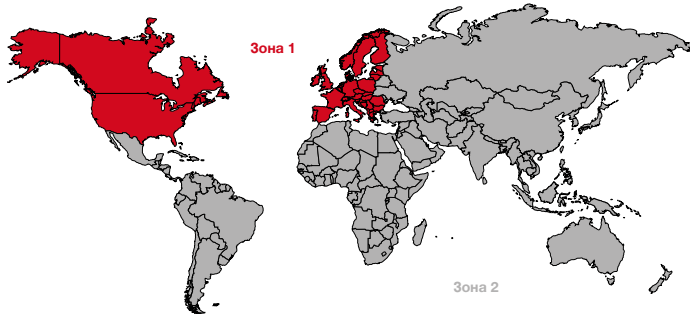
¹⁾ В случае с гвоздями, изготовленными из материала А2, обесцвечивание шляпок гвоздей может произойти до окончания срока службы, указанного в таблице выше. Для предотвращения этого следует использовать материал А4.

Для некоторых пород древесины, включая дуб, пихту и тую, следует использовать гвозди из нержавеющей стали, независимо от категории обслуживания и условий окружающей среды.

Использование некоторых методов обработки древесины, включая нанесение огнестойкого состава или обработку антисептиками, может изменить химический состав древесины, в результате чего может потребоваться использование гвоздей из нержавеющей стали, независимо от категории обслуживания и условий окружающей среды.

5.3. Выбор подходящей монтажной системы

Стандартный срок службы покрытий зависит от коррозионной активности атмосферы, которая может значительно различаться по всему миру. На практике компания Hilti различает две зоны:



Зона 1 включает страны, в которых качество атмосферного воздуха и климатические условия свидетельствуют о том, что в них отсутствуют загрязненные и тропические области. На сегодняшний день к таким странам относятся страны Европы и Северной Америки. Зона 2 включает страны, не входящие в зону 1, в которых надежная информация о качестве воздуха отсутствует, либо в которых, согласно этой информации, присутствуют области значительного загрязнения (особенно в городских зонах) и/или жаркие тропические климатические области.

Стандартные расчетные сроки службы монтажных систем компании Hilti приведены в нижеследующей таблице.

Монтажные системы	Монтажная система	Система MM + MQ + MC	Система MQ -F MC-OC	Система MQ ASTM MC-OC-A	Система MI HDG	Система MQ нержавеющая сталь A2/ AISI 304	Система MQ нержавеющая сталь A4/ AISI 316
		Крепеж для труб					
		Хомуты для внутренних помещений ¹	Хомуты (горячее цинкование) ²		MI-UB, MI-PS	Хомуты из нержавеющей стали ³	
Условия размещения		Срок службы для зоны 1 и зоны 2, лет					
	Отапливаемые помещения	от 70 до 100 от 70 до 100	до 100 до 100	до 100 до 100	до 100 до 100	■	■
	Неотапливаемые помещения с временной конденсацией	от 25 до 70 от 25 до 70	от 40 до 100 от 40 до 100	от 60 до 100 от 60 до 100	от 60 до 100 от 60 до 100	■	■
	Открытые пространства с низким уровнем загрязнения	от 4 до 10 от 2 до 10	от 25 до 50 от 15 до 60	от 40 до 100 от 25 до 100	от 40 до 100 от 25 до 100	■	■
	Открытые пространства со средним уровнем загрязнения	-	от 20 до 40 от 10 до 40	от 25 до 50 от 20 до 50	от 25 до 50 от 20 до 50	■	■
	Приморские районы	-	от 10 до 20 от 7 до 20	от 15 до 40 от 10 до 40	от 15 до 40 от 10 до 40	-	■
	Открытые пространства с высоким уровнем промышленного загрязнения	-	от 10 до 20 от 5 до 20	от 15 до 40 от 10 до 40	от 15 до 40 от 10 до 40	-	■
	В непосредственной близости от дорог	-	-	-	-	-	■
	Особые применения	Проконсультируйтесь с экспертом					

■ = ожидаемый срок службы монтажных систем, изготовленных из данного материала, обычно является достаточным для указанной среды, что определяется на основе обычно ожидаемого срока службы здания.

¹ Хомуты для внутренних помещений: 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 Хомуты (горячее цинкование): MP-MI-F, MP-M-F, MP-MXI-F, MP-MX-F

³ Хомуты из нержавеющей стали MP-SRN, MP-SRNI, MP-MR, MP-MRI, MP-MRXI

6. Список используемой литературы

Интернет-ресурсы

Общая информация о коррозии <http://corrosion-doctors.org/>

Цинковые покрытия <http://www.feuerzinken.com/> <http://www.galvanizeit.org/> <http://www.nordicgalvanizers.com/>

<http://www.edelstahl-rostfrei.de/> <http://www.bssa.org.uk/> <http://www.worldstainless.org/>
<http://www.euro-inox.org/> (информация доступна на различных языках)

Стандарты

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

Книги

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

(Г. Крейза, М. Шуц, «Справочник по коррозии. Том 6: Атмосферное воздействие и газообразные промышленные отходы», изд-во «Wiley VCH», 2004 г. (на английском языке)

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

П. Р. Роберже, «Справочник инженера-коррозиониста», изд-во «McGrawHill», 2012 г. (на английском языке)

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

Н. Г. Кеше, «Коррозия металлов: Физико-химические принципы и актуальные проблемы», изд-во «Springer», 2003 г. (на английском языке)

X.G. Zhang, "Corrosion and Electrochemistry of Zinc", Springer, 1996 U. Nürnberger, "Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen", Bauverlag, 1995

С. Г. Чжан, «Коррозия и электрохимия цинка», изд-во «Springer», 1996 г. У. Нюрнбергер «Коррозия и коррозионная защита в строительстве», изд-во «Bauverlag», 1995 г. (на английском языке).

7. Заявление об ограничении ответственности

Вся информация, приведенная в настоящем справочнике, основана на испытаниях, принципах, формулах, стандартах и одобрениях, приведенных в настоящем справочнике и действующих на дату печати. Информация распространяется только на виды применения, сопоставимые с описанными условиями. Перенос приведенных результатов на другие среды не допускается. Рекомендации по подбору и данные о расчетных сроках службы составлены только с учетом атмосферной коррозии и предназначены для использования в качестве ориентира в ходе первоначальной оценки. Условия на конкретном объекте, включая общие коррозионные свойства (например, температура, движение воздуха и воды, местные загрязняющие вещества, механическое абразивное истирание), прочие формы коррозии, требования к сроку службы, ответственность конструкции, программы инспекции, местные законодательные/нормативные/проектные требования могут в значительной степени повлиять на процесс подбора и всегда должны учитываться. Существует вероятность существенного разброса данных в пределах эксплуатационных характеристик покрытий/материалов и свойств, окружающей среды применительно к конкретной конструкции. Полная оценка и окончательный выбор является обязанностью специалиста, ответственного за проект, или, соответственно, покупателя. Настоящий отчет надлежит рассматривать как единый документ, и он может передаваться другим лицам или копироваться для последующего использования только полностью.

Поскольку приведенная в настоящем отчете информация предназначена для использования в качестве общих рекомендаций, компания Hilti не несет никакой ответственности за убытки или личный вред, причиненный в результате применения настоящего отчета.

Hilti. Работает лучше. Служит дольше.

Hilti Distribution Ltd | 143441 | Россия | Московская область | МКАД 69 км | Бизнес-парк «Гринвуд» | стр. 3
Т 8 800 700 52 52 | Ф 8 800 700 52 53 | E russia@hilti.com | www.hilti.ru | vk.com/hiltirusssia | facebook.com/hiltirusssia