

ОБЗОР ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО КРЕПЕЖА

Многие годы крепежные изделия класса прочности 8.8 и 10.9 для строительных конструкций поставлялись без защитных покрытий. Единственным способом защиты метизов от коррозии являлась консервационная смазка, которая удалялась на строительной площадке перед использованием крепежа. Эти правила были закреплены в действующей нормативной документации, и лишь после введения ГОСТ Р 52643-2006 – ГОСТ Р 52646-2006 ситуация изменилась. Новые стандарты дали производителям и потребителям широкие возможности по выбору типа защитного покрытия.

Все покрытия, перечисленные в ГОСТ 9.306 и ГОСТ Р 9.316, на которые ссылаются новые стандарты, равноправны и могут быть использованы потребителями по своему усмотрению. При выборе типа защиты от коррозии необходимо учитывать влияние покрытий на физико-механические свойства высокопрочного крепежа. Поэтому есть необходимость рассмотреть наиболее востребованные в строительстве и машиностроении металлические и неметаллические покрытия, не выходя за рамки указанных выше классов прочности крепежных изделий. По нашему мнению, анализ можно ограничить перечнем потребительских свойств, которые обеспечивают прочность, надежность и долговечность резьбовых соединений с предварительным усилием затяжки. Все это относится к фрикционным соединениям, в которых передача усилий сдвига производится за счет обжатия объединяемых деталей болтами, затягиваемыми с усилием до 0,6 R, а также к фланцевым соединениям. В качестве потребительских свойств крепежа можно выделить следующие характеристики, представляющие интерес:

- 1) прочность болтов, гаек и шайб в момент затяжки гаек;
- 2) стойкость против хрупкого разрушения в процессе эксплуатации;
- 3) соответствие нормативным значениям и стабильность К-фактора (коэффициента закручивания), обеспе-

чивающего требуемый уровень обжатия соединяемых деталей;

- 4) требуемая долговременность защиты крепежа от коррозии;
- 5) стойкость покрытия при многократной сборке и разборке резьбового соединения (для машиностроительного крепежа);
- 6) совместимость защитного покрытия с основной системой лакокрасочного покрытия конструкции (для окрашиваемых конструкций);
- 7) декоративные свойства (для неокрашиваемых конструкций).

Кроме этого, защитные покрытия должны решать одну важную для потребителей задачу, а именно – исключить предмонтажную подготовку крепежа на строительной площадке.

Потребительские характеристики, перечисленные под номерами 1–3, нормируются в ГОСТ Р 52643-2006. Для них в стандарте установлены критерии качества, соответствие которым обеспечивает безотказную работу резьбового соединения. Прочность обеспечивается равномерной резьбой, для которой регламентирован контроль обезуглероживания поверхностного слоя методами металлографии, а также признанием среза резьбы при испытании и затяжке браковочным признаком. Прочностные характеристики контролируются по всему поперечному сечению болта. ГОСТ Р 52643-2006 впервые установил повышенные требования к прочности болта на уровне нижнего предела прочности

гайки, что исключает замедленное разрушение резьбового соединения в процессе эксплуатации.

Проверка склонности стали, из которой изготовлен болт, к замедленному хрупкому разрушению и трещиностойкости, а также определение для каждой партии болтов ударной вязкости при низких температурах обеспечивает надежность резьбового соединения в жестких условиях эксплуатации. Очень важно, чтобы технология нанесения защитного покрытия не приводила к наводороживанию металла, вызывающему замедленное хрупкое разрушение.

Большое внимание уделяется в стандарте стабильности К-фактора (коэффициента закручивания), позволяющей косвенными методами контролировать на строительной площадке правильность затяжки болтов. Фактически этот показатель характеризует свинчиваемость резьбового соединения, и на него влияет вид и толщина защитного покрытия и качество резьбы.

Критерии для характеристик, перечисленных под номерами 4–7, должны быть выбраны потребителями исходя из назначения конструкции. Здесь мы можем высказать лишь общие соображения, поскольку эти вопросы в нормативной документации не рассмотрены.

В вопросе о долговременности защиты от коррозии можно обратить внимание на два соображения. В строительных конструкциях высокопрочный крепеж класса прочности 10.9 номинальным диаметром не выше М22 успешно работает без защитных покрытий в течение почти пятидесяти лет. Разрушение таких болтов встречается крайне редко. Известны случаи разрушения болтов М24 и М27, но причиной этого является непригодность стали 40Х для изготовления болтов большого диаметра данного класса прочности. В целом, можно отметить, что защита болтов строительных конструкций на протяжении всего срока эксплуатации в фактически неразборных соедине-

ниях не требуется. Достаточно обеспечить защиту на период от изготовления крепежа до его установки в соединение, т.е. не более двух лет.

Другая ситуация у крепежа, работающего в сильно агрессивной атмосфере химического производства или применяемого в многократно разборных соединениях. Защита этих крепежных изделий должна обеспечиваться во время всего срока службы.

Для многократно разборных соединений важны: устойчивость покрытия к износу при периодической сборке-разборке соединения, неизменность К-фактора (коэффициента закручивания) после каждого цикла разборки соединения и сохранение защитных свойств.

Болтовые соединения, как правило, окрашиваются вместе со всей конструкцией единой системой лакокрасочного покрытия. Поэтому независимо от назначения конструкции к защитным покрытиям крепежных изделий должны предъявляться требования по совместимости с лакокрасочными покрытиями. И эта совместимость должна быть подтверждена стандартными испытаниями на долговечность комбинированного покрытия, а также должна быть признана поставщиком лакокрасочных материалов, который дает гарантию долговечности комбинированного покрытия. В формировании критериев совместимости мы сегодня делаем первые шаги. Пока неясно, какой минимальный уровень адгезионной прочности в начале эксплуатации системы защиты будет достаточен, чтобы не снизить долговечность рассматриваемого отдельно лакокрасочного покрытия. Первые опыты с ламинальными покрытиями показывают прочность сцепления равную 5 МПа. Но достаточно ли этой прочности, мы можем понять только после проведения ускоренных испытаний, которые в настоящий момент никто не хочет финансировать. Без этого использование крепежа с защитными покрытиями в окрашиваемых конструкциях экономически нецелесообразно.

Практика применения защитных покрытий для крепежных изделий показала, что наилучшим средством для их противокоррозионной защиты является цинкование, поскольку цинковое покрытие длительное время

сохраняет как барьерные, так и протектирующие свойства. По способам нанесения цинковые покрытия для крепежных изделий могут быть классифицированы по типам технологии их нанесения на гальваническое, горячее, термодиффузионное (ТДЦ) и ламинальное.

Гальваническое покрытие по ГОСТ 9.306 наносят на крепежные изделия электролитическим методом из растворов, содержащих соли цинка, под действием гальванических токов. Получаемые при данной технологии цинковые покрытия имеют толщину не более 15–20 мкм. В связи с малой толщиной они достаточно пористы, и потому в промышленной и морской атмосфере их защитная способность не превышает 2–3 лет.

Покрытия хорошо ведут себя при сборочных операциях, показывая достаточно стабильный К-фактор (коэффициент закручивания) при малых нагрузках. Но все же малая толщина покрытия и слабая адгезия к стальной подложке при первой сборке повреждают покрытие. Поэтому крепежные изделия с гальваническим покрытием пригодны для одноразового применения и должны заменяться при каждой разборке соединения.

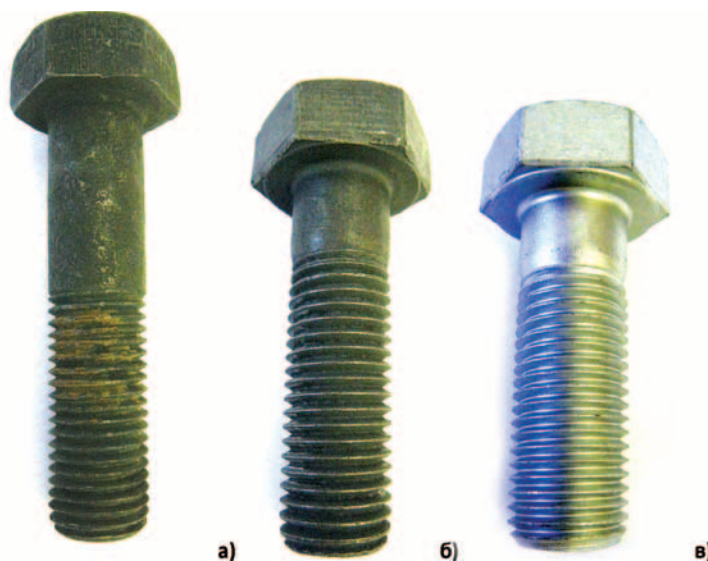
Следует отметить, что подготовка поверхности крепежных изделий осуществляется путем кислотного травления, что увеличивает риск наводороживания стали. Наводоро-

живание происходит и при самом гальваническом процессе нанесения покрытия. Следовательно, для изделий после гальванического цинкования высок риск хрупкого разрушения в процессе эксплуатации.

Можно заключить, что основным недостатком гальванического цинкового покрытия является опасное влияние технологии его нанесения на склонность к хрупкому разрушению. По остальным показателям гальванические потребительские свойства. Его следует применять главным образом там, где требуются высокие декоративные свойства и низкие стоимостные показатели. Лакокрасочные материалы имеют невысокую адгезию к гальваническому цинку, поэтому оцинкованные таким способом соединения рекомендуется окрашивать только после некоторой их выдержки на открытом воздухе и образования на покрытии пассивных защитных пленок.

Горячее покрытие по ГОСТ 9.306 наносится путем окунания крепежа в расплав цинка и последующего centrifугирования для исключения наплывов цинка на резьбе. Этот вид покрытия создает наилучшую защиту резьбового соединения от коррозии на срок до 10 лет.

Поскольку расплав цинка имеет высокую вязкость, увеличивающуюся при остывании вынутого из ванны крепежа, избежать наплывов цинка в резьбе полностью не удастся. Особенно



Защитные покрытия для высокопрочных метизов: а) болт без покрытия; б) болт с термодиффузионным цинковым покрытием; в) болт с ламинальным цинковым покрытием

это характерно для гаек. Поэтому резьбовая часть оцинкованных горячим способом крепежных изделий иногда требует дополнительной механической обработки, что приводит к срезанию покрытия до основного металла, а это, соответственно, снижает защитную способность покрытия. Таким образом, применению высокопрочного крепежа, оцинкованного горячим методом, препятствует значительная толщина покрытия (свыше 30 мкм), искажающая форму резьбы за счет образования наплывов во впадинах, что не позволяет наносить его на болты со стандартной резьбой. За границей для болтов с горячим цинковым покрытием используют резьбу с полем допуска баз. В ГОСТ Р 52643-2006 – ГОСТ Р 52644-2006 не предусмотрено отклонение от поля допуска резьбы 6g, поскольку резьба с полем допуска баз в нашей стране не стандартизирована в ГОСТ 16093-2004 «Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором», а полномерность резьбы, как говорилось ранее, является гарантией ее прочности. Этим снижается риск среза резьбы при затяжке болтов, обусловленный уменьшением размеров профиля резьбы при возможном обезуглероживании ее поверхности. Конечно, правильный выбор стали для крепежа, исключение обезуглероживания при термической обработке позволяют обеспечить нормативную прочность крепежа. Но частичное несоответствие основополагающим нормам на резьбу и риск среза неполномерной резьбы игнорировать нельзя.

Для высокопрочных метизов горячее цинковое покрытие не рекомендуется, поскольку при подготовке поверхности применяется кислотное травление, способствующее наводороживанию стали, которое впоследствии может привести к непредсказуемому хрупкому разрушению крепежных изделий.

Для горячего цинкового покрытия характерно неприемлемо высокое значение коэффициента закручивания, в результате чего при затяжке в болтах не достигается нормативный уровень растягивающих усилий.

Крепеж с горячим цинковым покрытием имеет очень хорошие декоративные свойства, и без дополнительного лакокрасочного покрытия имеет лучшие защитные свойства, чем гальваническое

цинковое покрытие. В окрашиваемых конструкциях горячее цинковое покрытие на крепеже плохо совместимо с лакокрасочными материалами, применяемыми для защиты конструкций. Его окрашивание возможно только после длительной выдержки на воздухе для образования пассивных защитных пленок.

Чаще перед окраской конструкции горячее цинковое покрытие полностью удаляется абразивоструйной очисткой. Становится очевидной неэффективность затрат на приобретение крепежа с горячим цинковым покрытием. Следовательно, горячее цинковое покрытие целесообразно применять в неокрашиваемых конструкциях, болтовые соединения которых требуют длительной защиты от коррозии и не требуется создания предварительной затяжки. Например, в машиностроении, а также в оцинкованных строительных конструкциях длительной эксплуатации (вышки электропередачи и пр.). Именно в этом случае окупится сравнительно более высокая стоимость крепежа с горячим цинковым покрытием, которая на 20–30% выше, чем у гальванического покрытия.

Термодиффузионное цинковое (ТДЦ) покрытие по ГОСТ Р 9.316 является альтернативой горячему цинкованию. В отличие от горячего цинкования, для подготовки поверхности крепежа применяют легкий абразивоструйный бластинг. Это полностью исключает риск наводороживания крепежа и хрупкого разрушения при эксплуатации. Термодиффузионное цинкование традиционно выполняют в ретортах со смесью, состоящей из порошкового цинка, глинозема и активатора (хлористого аммония). Путем нагрева реторта прогревается не выше температуры плавления цинка (420°C), и за счет температурной диффузии атомы цинка из твердой и паровой фазы внедряются в расшатанную термическим нагревом решетку железа. В свою очередь, активные атомы железа движутся в сторону цинка. В результате этого процесса образуется интерметаллидное покрытие Zn-Fe, состоящее из нескольких слоев. Верхним слоем покрытия служит интерметаллидный δ-слой, имеющий столбчатую структуру и содержащий кроме 89...93% цинка от 7 до 11% желе-

за. За счет содержания цинка происходит протекторная защита стали.

Первой опасностью для крепежа при нанесении ТДЦ покрытия является нагрев выше температуры отпуска стали, что влечет за собой снижение прочности крепежа. Поэтому ГОСТ Р 52643-2006 требует проводить контроль прочностных характеристик после нанесения ТДЦ покрытия.

Качество ТДЦ покрытия зависит от состава шихты и термического режима. В качестве примера можно рассмотреть бельгийскую технологию нанесения ТДЦ покрытия, используемую одним отечественным предприятием. В ней используются печи с более высокой температурой нагрева, а шихта представляет смесь, обедненную цинком, но содержащую большее количество активаторов, обеспечивающих превращение цинкового порошка в активную паровую фазу. В результате образуется тонкое покрытие с малым количеством цинка и повышенным содержанием железа в поверхностном слое. Железо в поверхностном слое неизбежно начнет ржаветь. И для замедления этого процесса предусмотрена операция пассивирования диффузионного покрытия в составе на основе ортофосфорной кислоты. Полученное покрытие имеет малую длительность защиты от коррозии, и пригодно только для защиты на период доставки крепежа с завода на строительную площадку. Для строительных конструкций этого достаточно.

Повысить качество покрытия можно путем увеличения содержания цинка с использованием, например, индукционного нагрева деталей, или путем обогащения шихты цинком, что ведет к удорожанию процесса.

Получаемое ТДЦ покрытие не имеет пор и за счет диффузионного слоя в виде твердого раствора цинка в железе имеет прочную адгезионную связь со стальной подложкой. Небольшая толщина (не более 30 мкм) и плотное прилегание покрытия, повторяющее профиль резьбы, хорошо вписывается в межрезьбовой зазор между болтом и гайкой. Это обеспечивает многократную собираемость резьбового соединения при условии достаточной пластичности цинкового покрытия. Следовательно, ТДЦ покрытие можно рекомендовать для сборно-разборных соединений.

Интерметаллид имеет более высокую микротвердость (до 4800 МПа) по сравнению с чистым цинком (не более 900 МПа). Поэтому от количества цинка в δ-слое зависит стойкость покрытия на истирание при многократной сборке-разборке резьбового соединения: при увеличении доли цинка его стойкость снижается, при уменьшении доли цинка стойкость возрастает. Но при этом содержание цинка в поверхностном слое с величиной К-фактора связывает обратная зависимость – при наличии большого количества цинка в поверхностном слое он работает как смазка и снижает величину К-фактора.

С принятием ГОСТ Р 52643-2006 многие производители метизов заявили о невозможности получить нормативную величину К-фактора (коэффициента закручивания) для крепежа с ТДЦ покрытием без дополнительного промасливания. Причиной повышения К-фактора является низкое качество нанесения покрытия в результате несоблюдения термического режима цинкования и обеднения шихты цинком. К сожалению, небрежность в соблюдении технологических параме-

тров наблюдается во всех случаях, когда ТДЦ покрытие наносят не на предприятии, изготовившем крепеж. Знакомство с продукцией зарубежных производителей крепежа, оцинкованного методом ТДЦ, свидетельствует об их добросовестности.

Само по себе ТДЦ покрытие имеет низкие декоративные свойства. Дополнительное промасливание делает ТДЦ покрытие несовместимым с любыми лакокрасочными материалами, и вынуждает при окраске конструкций полностью удалять его с крепежа. Но и это в НПЦ мостов удалось преодолеть, применив специальный лак для снижения и стабилизации К-фактора до 0,125 и сохранения совместимости ТДЦ покрытия с основными типами лакокрасочных материалов.

Таким образом, термодиффузионное покрытие обладает как привлекательными для потребителя свойствами, так и рядом негативных особенностей. Поскольку большинство потребительских свойств ТДЦ покрытия зависит от его качества, то возникает необходимость контроля химического состава поверхностного слоя. Однако ГОСТ Р 9.316 не

содержит метод контроля этого важного показателя.

Ламельные покрытия по ГОСТ 9.306 толщиной не более 10 мкм получают нанесением лакокрасочных материалов на водной либо эпоксидной основе, наполненных цинком и алюминием и подвергаемых после нанесения горячей сушке. Ламельные покрытия имеют прекрасные декоративные свойства (серебристый цвет) и долговечность защиты не менее двух лет, достаточную на период транспортировки до строительной площадки и выполнения монтажных операций. Подготовку поверхности выполняют не повреждающим профиль резьбы абразивоструйным методом, что исключает наводороживание. Покрытие наносят на изделия окунанием в суспензию на водной основе, с последующей сушкой в проходных печах при температуре 200...300°С. Технология нанесения ламельного покрытия исключает вероятность наводороживания, так как на протяжении всего процесса нанесения отсутствует контакт с кислотами. Также исключено разупрочнение крепежа,

Требования к условиям эксплуатации конструкции	Тип защитного покрытия			
	Гальваническое покрытие	Горячее покрытие	ТДЦ покрытие	Ламельное покрытие
В зависимости от проектной длительности защиты				
Длительная защита (до 10–15 лет)	-	++	+	-
Кратковременная защита (до 2 лет)	++	+	+	++
В зависимости от коррозионной агрессивности среды				
Высокоагрессивная среда	-	++	++	-
Слабоагрессивная среда	+	++	++	+
В зависимости от температуры эксплуатации				
При температуре до –60°С	+	+	++	++
При температуре до –20°С	+	+	++	++
В зависимости от вида болтового соединения				
В соединениях, работающих на срез	+	+	+	+
Во фрикционных соединениях с усилием натяжения ≤ 0,45 R	+	+	+	+
Во фрикционных соединениях с усилием натяжения ≥ 0,45 R	-	-	++	++
В зависимости от требований к декоративным свойствам				
В окрашиваемых конструкциях	-	-	+	+
В неокрашиваемых конструкциях	++	++	+	++
Примечание:				
++	предпочтительное использование			
+	допускается использовать			
-	не рекомендуется использовать			

поскольку температура отверждения покрытия значительно ниже температуры отпуска стали болтов.

Поскольку покрытие имеет малую твердость, оно повреждается при сборке резьбового соединения, и при каждой последующей сборке-разборке возрастает величина К-фактора. Поэтому ламельные покрытия фактически пригодны только для одноразового использования болтокомплекта. Следовательно, сферой применения крепежа с ламельными покрытиями преимущественно являются строительные конструкции.

Ламельные покрытия при самостоятельном применении имеют достаточно высокие значения К-фактора на уровне 0,16...0,17. Использование специального лака позволяет снизить значение коэффициента закручивания, облегчая работу монтажников. Покрытия (сами по себе и со стабилизирующим лаком) чувствительны к температуре и влажности окружающего воздуха, которые влияют на величину этого показателя, увеличивая его при понижении температуры, из-за повышения твердости покрытия, и снижая в результате увеличения пластичности покрытия при на-

греве. При этом усилие затяжки болтов не изменяется.

Исследования показали, что ламельное покрытие совместимо с основными типами лакокрасочных материалов и имеет прочность сцепления после нанесения, равную 5 МПа. Можно согласиться, что сегодня ламельные покрытия являются наиболее перспективным типом защиты крепежных изделий для окрашиваемых строительных конструкций.

Высокопрочный крепеж с защитным покрытием нельзя рассматривать отдельно от конструкции, в которой он применяется. Каждый тип защитного покрытия имеет свою область применения, определяемую назначением соединения, требуемой длительностью защиты от коррозии, условиями эксплуатации, усилиями предварительного натяжения в болтах, а также набором потребительских свойств покрытия, необходимых для данного типа конструкции. Поэтому не следует в нормативной документации для крепежных изделий указывать какой-либо один тип защитного покрытия, отмечая другие, как это сделано в ГОСТ Р 53664-2009.

Многообразие конструкций, условий их эксплуатации и требований к ним не позволяет дать однозначные рекомендации по выбору крепежа с защитными покрытиями. Тем не менее, мы попытались свести в таблицу наши предпочтения в области применения покрытий по отдельным техническим аспектам. Ценовые характеристики из рассмотренных исключены.

Рассматривая таблицу, легко убедиться в невозможности выбора покрытия по одной характеристике, без учета остальных потребительских свойств. Несомненно, потребители при выборе крепежа с защитным покрытием должны самостоятельно учитывать весь комплекс рассмотренных выше факторов. И потому поставщикам крепежа не следует удивляться отказу потребителей от предлагаемого товара, если он по отдельным показателям им не подходит.

Е.Б. КАБАНОВ, д-р техн. наук,
В.С. АГЕЕВ, канд. техн. наук,
А.Н. ДЕРНОВОЙ, инженер
ООО «Научно-производственный
центр мостов»