

# Изолирующие рельсовые стыки для линий с тяжеловесным движением

Улучшение работы изолирующих стыков на линиях, где обращаются тяжеловесные поезда с высокими осевыми нагрузками, является одной из важных проблем для железных дорог Северной Америки. В случае отказов или повреждений изолирующих стыков, помимо прямых затрат на ремонт и замену данных элементов верхнего строения пути, могут быть значительными потери, связанные с задержками в движении поездов. Поэтому железные дороги, исследовательские организации и компании-поставщики ищут способы повышения качества и надежности таких стыков.

Центр транспортных технологий (ТТСИ) Ассоциации американских железных дорог в рамках отраслевой исследовательской программы сотрудничает с железнодорожными компаниями Burlington Northern Santa Fe (BNSF) и Union Pacific (UP) над оценкой эффективности изолирующих стыков на углевозных линиях с движением тяжеловесных поездов. Предварительные результаты эксплуатационных испытаний многих опытных образцов свидетельствуют о том, что изолирующие стыки в условиях тяжеловесного движения лучше функционируют, если они представляют собой сочетание оптимальной конструкции самого стыка и надежного основания. Многие стыки улучшенной конструкции хорошо зарекомендовали себя в таких условиях, демонстрируя способность работы до суммарного пропуска поездной нагрузки 600 млн. т брутто и более, что в два-три раза выше работоспособности обычных изолирующих стыков.

## Предыстория

Для того чтобы обеспечить прохождение по рельсовым цепям токов, которые используются в системах сигнализации, а также для детектирования дефектов в рельсах, практически на всех железных доро-

гах применяют изолирующие рельсовые стыки на клеевом креплении с приваренными рельсовыми соединителями. Конструкция таких стыков оставалась неизменной в течение более 100 лет. Однако в последние годы благодаря усилению и совершенствованию конструкций основных компонентов верхнего строения и основания пути на многих линиях появилась возможность увеличить массу и скорость движения грузовых поездов. В связи с увеличением грузонапряженности линий стандартные изолирующие рельсовые стыки стали преждевременно выходить из строя вследствие утраты требуемых механических или электрических характеристик. На линиях с интенсивным движением грузовых поездов срок службы стандартных изолирующих стыков (12–18 мес) значительно меньше, чем других компонентов путевой структуры. Железные дороги несут убытки из-за задержек поездов и снижения пропускной способности, которые могут быть значительно выше, чем прямые затраты на ремонт стыков. Это обусловило необходимость создания изолирующих стыков улучшенной конструкции.

Ранее уже рассматривались особенности работы изолирующих рельсовых стыков в условиях тяжеловесного движения. Указывалось, что наиболее характерными дефек-

тами стыков являются трещины в эпоксидном слое, начинающиеся от центра стыка.

Возникновению дефектов такого рода способствуют следующие факторы:

- исполнение стыка с недостаточно прочным стыковым соединением, способствующее образованию повышенных напряжений в эпоксидном слое;
- разрушение эпоксидной смолы под воздействием неблагоприятной окружающей среды и погодных условий (например, попадание воды вызывает нарушение сцепления эпоксидной смолы с металлом);
- наличие высоких динамических нагрузок (используемые в настоящее время эпоксидные смолы не способны сопротивляться ударным нагрузкам и относительным смещениям рельсов и стыковых накладок).

## Пути решения проблемы

В связи с важностью данной проблемы для отрасли на углевозных железных дорогах западных районов США проводятся испытания нескольких прототипов изолирующих стыков. Результаты, хотя еще предварительные, позволяют разбить способы решения рассматриваемой проблемы на ряд категорий:

- применение компонентов большего размера для получения изолирующих стыков с повышенной грузочной способностью;
- обеспечение более качественного основания для уменьшения общих смещений рельсов и накладок изолирующих стыков под воздействием нагрузок от движущихся поездов;
- применение новых материалов, обладающих большим сроком службы и повышенной сопротивляемо-



Рис. 1. Изолирующий стык с охватывающими накладками



Рис. 2. Изолирующий стык с накладками на три шпалы с восемью отверстиями

стью контактно-усталостным явлениям и воздействию неблагоприятной окружающей среды;

- улучшение конструкции стыков для повышения сопротивляемости динамическим нагрузкам или смягчения последствий их воздействия.

### Стыковые накладки с большим модулем

Для обеспечения соответствия жесткости изолирующего стыка в вертикальном направлении жесткости путевых рельсов разработаны стыковые накладки с большим модулем. Анализ показывает, что напряжения среза в эпоксидном слое все еще сильно превосходят предельные значения прочности эпоксидной смолы. Вероятностный характер дефекта в таком случае — раскрытие эпоксидного слоя. В связи с этим применение накладок с большим модулем оказалось довольно эффективным — к августу 2007 г. средняя наработка опытных стыков с такими накладками достигла 210 млн. т поездной нагрузки.

### Охватывающие стыковые накладки

Для того чтобы повысить жесткость рельсов в вертикальном направлении, созданы накладки с дополнительными элементами, охватывающими подошву рельсов стыка (рис. 1). Накладки этой конструкции, по сути дела, создают как бы единую опору для обоих рельсов.

Вероятностный характер дефекта в таком случае еще не определен. Средняя наработка опытных изолирующих стыков с такими накладками по пропуску поездной нагрузки к августу 2007 г. составила 186 млн. т, дефектов обнаружено не было.

### Рельсы с утолщенной шейкой

Применение в изолирующих стыках рельсов с утолщенной шейкой имеет целью уменьшения прогиба самих рельсов и снижение максимальных напряжений в эпоксидном слое. Чтобы данная конструкция работала более эффективно, может понадобиться также усиление подрельсового основания. Вероятностный характер дефектов в таком случае — явления контактной усталости качения на поверхности рельсов и повреждение эпоксидного слоя. Опытные стыки с рельсами с утолщенной шейкой к августу 2007 г. имели среднюю наработку 385 млн. т поездной нагрузки и их поведение в пути не вызывало нареканий.

### Стыковые накладки на три шпалы с восемью отверстиями

Сочетание удлиненных стыковых накладок с усиленным подрельсовым основанием увеличивает срок службы изолирующих стыков. Применение такого технического решения уменьшает максимальные напряжения в эпоксидном слое. Поскольку подробных сведений о ра-

боте таких стыков в пути еще нет (к августу 2007 г. эксплуатационные испытания нескольких опытных изолирующих стыков с такими накладками еще продолжались), экспертное заключение таково, что изолирующие стыки только за счет использования удлиненных накладок могут обеспечить бездефектный пропуск поездной нагрузки порядка 300 млн. — 400 млн. т брутто против 200 млн. т для стыков с обычными накладками. Вместе с тем в ходе испытаний пока не удалось определить положительный эффект удлинения накладок в отдельности от других факторов усиления конструкции стыков и основания. Полагают, однако, что эффект от усиления подрельсового основания должен сказываться сильнее. Вероятностный характер дефектов в таком случае аналогичен имеющему место в безопорных стыках — повреждение эпоксидного слоя. Необходимы дополнительные исследования и разработки, чтобы добиться смягчения явлений контактной усталости при использовании накладок на несколько шпал. На рис. 2 показан изолирующий стык на опоре с накладками на три шпалы с восемью отверстиями, установленный на одном из участков железной дороги UP.

На железной дороге BNSF на переходных участках пути (от ходовых рельсов к изолирующим стыкам) на железобетонных шпалах, для которых характерны высокие динамические нагрузки, укладывают панели из деревянных шпал.

Ширина шпал в панели непосредственно под стыком увеличена до 28 см против стандартной ширины 23 см, а длина всех шпал — до 2,9 м против стандартной длины 2,75 м. Такие панели из деревянных шпал, имеющие площадь опоры примерно такую же, что железобетонные шпалы, обеспечивают дополнительное гашение вибраций путевой структуры. Изменение типа подрельсового основания создает дополнительные переходные зоны на расстоянии 6,1 м в обе стороны от изолирующего стыка. Поскольку и в данном случае подробных сведений о работе стыков такой конструкции в пути еще нет (испытания продолжались), экспертное заключение аналогично приведенному выше, т. е. предполагается, что такие изолирующие стыки могут иметь увеличенный до 300 млн. — 400 млн. т срок службы по пропуску поездной нагрузки против 200 млн. т для обычных стыков. Подобным же образом эффект изменения конструкции стыков и подрельсового основания не удалось вычленивать из суммарного эффекта всех причастных факторов.

#### Новые изоляционные материалы

Применение изоляционных материалов, обладающих большей прочностью и ударной вязкостью, способствует продлению срока службы изолирующих стыков. Так, для изготовления прокладок между рельсами и стыковыми накладками предложено использовать кевлар (волокнистый материал на основе полиамидов) вместо стекловолокна. Изоляционный материал интегрируется в эпоксидный слой изолирующего стыка и сочетает функции распорной прокладки, изолятора и армирующего элемента эпоксидной смолы. Лабораторные испытания стыков обычной конструкции с изолирующими элементами из кевлара показали, что по сравнению со стыками, имеющими изолирующие

элементы из стекловолокна, они обладают примерно такой же прочностью при незначительном увеличении срока службы. Однако эксплуатационные испытания таких стыков демонстрируют значительно большее увеличение срока службы. Ожидается, что опорные стыки с изолирующими элементами из кевлара будут успешно функционировать вплоть до накопления суммарного пропуска 600 млн. т поездной нагрузки. Есть также мнение, что эффективность использования кевлара выше в более тяжелых эксплуатационных условиях, например при наличии ударных нагрузок и напряжений в разных плоскостях.

#### Эпоксидные смолы с измененными характеристиками

На момент написания данной статьи продолжались испытания изолирующих стыков с конструктивными элементами из эпоксидной смолы повышенной упругости, в частности с вкладышами, которые должны препятствовать попаданию воды в зону торцов рельсов. В стыках некоторых типов, судя по наличию ржавых подтеков, эти изменения не дали большого эффекта в части проникновения в них воды. Однако при небольшой грузонапряженности основную причину дефектов такого рода эти элементы устраняют, демонстрируя хорошую работоспособность и экономическую эффективность.

Испытывались также конструктивные элементы изолирующих стыков, изготовленные из эпоксидной смолы повышенной жесткости. Этот материал поставляется в виде листов, которые подвергаются нагреву, после чего придают им требуемую конфигурацию и приклеивают к металлической поверхности. Пока эта технология применительно к изолирующим стыкам не дает особых преимуществ по сравнению с обычными способами крепления.

#### Керамические материалы

Лабораторные испытания на срез эпоксидного слоя без сеточной изолирующей арматуры показывают, что стыки с таким эпоксидным слоем прочнее по сравнению со стыками с ним. Таким образом, создание прочного и долговечного изолирующего слоя на основе только эпоксидной смолы может быть обеспечено и без дополнительных элементов. В процессе испытаний находилась пара изолирующих стыков с керамическим покрытием на рельсах и стыковых накладках, и к августу 2007 г. они успешно выдержали суммарную нагрузку по 310 млн. т поездной нагрузки.

#### Изолирующие элементы измененной конфигурации

В типовом изолирующем стыке на клеевом соединении изолированы между собой рельсы один от другого, рельсы от рельсовых накладок и рельсы от всех стыковых болтов. Стыковые накладки и болты электрически соединены. Под воздействием растягивающих напряжений стыковые накладки могут сдвигаться относительно рельсов, обуславливая повреждения изоляционных втулок болтов в отверстиях в комбинации рельсы/накладки/болты. Чтобы решить эту проблему, разработан и проходит испытания изолирующий стык с элементами измененной конфигурации, в котором стыковые болты изолированы от накладок. В случае повреждения или смещения стыковой накладки сила, воздействующая на изоляцию каждого болта, уменьшается в 2 раза. При этом болт можно заменить, в то время как в стыке стандартной конструкции при нарушении изоляции замену болта нельзя осуществить, не шунтируя рельсовую цепь.

К августу 2007 г. несколько опытных изолирующих стыков пропустили в среднем поездную нагрузку 170 млн. т каждый.



### Предстоящие исследования

Для достижения конечной цели — доведения срока службы изолирующих рельсовых стыков до срока службы путевых рельсов необходимы дополнительные исследования и разработки. В качестве основных путей рассматриваются дальнейшее снижение напряжений в эпоксидном слое, а также повышение его сопротивляемости воздействиям окружающей среды. Требуется более эффективная конструкция стыка, обеспечивающая уменьшение напряжений сдвига в эпоксидном слое до уровня, при котором он выдерживал бы пропуск суммарной поездной нагрузки в 1 млн. — 2 млн. т брутто. Одним из потенциальных решений может быть стык внахлест или с косым срезом рель-



Рис. 3. Изолирующий стык с косым срезом торцов рельсов

сов. Для уменьшения воздействия окружающей среды следует разработать улучшенные методы подготовки металлической поверхности.

### Изолирующие стыки с косым срезом

Конструкция изолирующих стыков с косым срезом торцов рельсов (с так называемым соединением в ус) считается эффективной с точки зрения снижения ударных воздействий. Результаты испытаний в ТТСИ показали, что в стыках с косым срезом торцов рельсов ударные нагруз-

ки составляют в среднем 17% статической нагрузки колеса на рельс и приближаются к таковым на ровном пути (15%), в то время как в стыках обычной конструкции они достигают 30% статической колесной нагрузки, т. е. почти в 2 раза больше. Кроме того, изолирующие стыки с косым срезом демонстрируют большую сопротивляемость продольным нагрузкам и жесткость по сравнению с обычными стыками. Единственной проблемой такой конструкции остается текучесть металла вдоль поверхности качения. Поэтому здесь предполагается применение рельсов из улучшенной стали с головкой, имеющей тщательно обработанную поверхность катания и закаленной на глубину, сводящую указанную проблему к минимуму. В настоящее время текучесть металла уменьшают путем изменения продольного и поперечного профиля головки рельсов.

Изолирующий стык с косым срезом торцов рельсов спроектирован с таким расчетом, чтобы уменьшить на 2/3 максимальные напряжения в эпоксидном слое. Его конструкция отличается от конструкции иногда применяемых стыков со срезом под углом 45 град тем, что в ней создан более эффективный перехлест. Недавно на железной дороге УР провели первую серию эксплуатационных испытаний изолирующих стыков с увеличенным перехлестом (рис. 3), в ходе которых к августу 2007 г. была накоплена поездная нагрузка более 100 млн. т. Такие стыки хорошо показали себя и при испытаниях на полигоне тяжеловесного движения ТТСИ, выдержав в сложных условиях без нареканий пропуск поездной нагрузки 100 млн. т.

### Подготовка поверхности

Были проведены эксперименты по обработке металлических поверхностей в целях обеспечения более прочной и долговечной ее связности с эпоксидной смолой. Резуль-

таты лабораторных и эксплуатационных испытаний свидетельствуют о том, что оптимальным способом увеличения долговечности изолирующих стыков, с данной точки зрения, является предотвращение окисления металлических поверхностей.

Для испытаний были взяты образцы эпоксидной смолы, подвергнутые искусственному старению, после чего была проведена серия лабораторных экспериментов с целью изучения их связности с обработанной металлической поверхностью. Эксперименты проводили с моделированием реальных, в том числе самых тяжелых, эксплуатационных условий при двух способах предварительной обработки поверхности: дробеструйной обработкой и протиркой растворителем. Во время испытаний следили за тем, чтобы эпоксидная поверхность смачивалась водой. Установлено, что рост трещин связан с разрушением эпоксидной пленки под воздействием окружающей среды.

При испытаниях поверхность подготавливали с использованием материалов двух видов. Оба материала принадлежали к классу силанов (насыщенных гидридов кремния), обычно применяемых в других отраслях для подготовки поверхностей к нанесению эпоксидной смолы. Эффективность сочетаний отдельных видов силана и эпоксидной смолы оказалась разной, но во всех случаях было доказано, что подготовка поверхности металла с помощью силанов улучшает долговечность ее соединения с эпоксидной смолой и увеличивает время до выявления резкого роста трещинообразования в эпоксидной смоле. В то же время для определения оптимального сочетания способов подготовки металлической поверхности и эпоксидной смолы необходимы дальнейшие исследования.

*D. Davis, M. Akhtar. Railway Track & Structures, 2007, № 8, p. 24–30.*