

# Стратегии шлифования рельсов

Шлифование рельсов является необходимой составной частью экономического технического содержания верхнего строения пути. Многие железнодорожные компании в Европе приступили к разработке соответствующих правил проведения шлифовальных работ для предотвращения возникновения усталостных дефектов. На основе используемых стратегий шлифования можно дать рекомендации по оптимальному применению шлифовальной техники.

## Назначение шлифования

Уход за рельсами в настоящее время — это рутинное мероприятие, осуществляемое в рамках технического обслуживания верхнего строения пути. В соответствии с местными условиями используют различные способы шлифования головки рельса.

Усталостные дефекты на поверхности катания относятся к наиболее распространенным повреждениям рельса. Они возникают под действием высоких нагрузок, создаваемых катящимися колесными парами. В настоящее время эта проблема приобретает все большее значение на линиях со смешанным и высокоскоростным пассажирским (выше 200 км/ч) движением. При этом большое значение имеет точное согласование геометрической формы взаимодействующих профилей головки рельса и колеса, что позволяет уменьшить силы, действующие в зоне их контакта.

В процессе эксплуатации оптимальный профиль головки можно поддерживать путем регулярной обработки рельсов с помощью шлифовальной техники. В последние годы разработаны специальные поперечные профили, отличные от обычно применяемых. Шлифование рельсов проводят с небольшими допусками относительно попе-

речного профиля, так как его изменение в значительной степени влияет на процессы в зоне контакта колеса и рельса.

Очень важно правильно выбрать параметры шлифования. Точно установить размер повреждения довольно трудно. О скорости развития дефекта в настоящее время судят по величине трещины в зоне поверхности катания головки рельса. Небольшие видимые, но очень тонкие трещины не позволяют определить, как быстро развивается процесс повреждения. В настоящее время существуют лишь ограниченные возможности определения степени повреждений метрологическими методами. В связи с этим необходимость применения и режимы шлифования определяются установленной циклическостью работ.

В Европе инфраструктурные компании начали разрабатывать стратегии шлифования и соответствующие технические документы (различные инструкции) для предотвращения и устранения усталостных дефектов в рельсах. В прошлом это распространялось только на часть работ по шлифованию, в частности на обработку внутренней грани головки рельса, связанную со значительным съемом металла. Иногда такая обработка приводила к более ранней замене рельса по соображениям

безопасности. Стратегии ремонтных работ и соответствующие инструкции разрабатывают, основываясь на детальных теоретических исследованиях и практическом опыте.

## Усталостные дефекты

Наиболее часто усталостные повреждения возникают там, где действуют высокие динамические нагрузки, например в малой по площади зоне соприкосновения колеса и рельса или на внешней стороне рельса в кривой.

### *Сетка трещин на поверхности катания*

Спустя некоторое время после начала эксплуатации рельса на его поверхности катания появляются микротрещины, расположенные одна от другой на большем или меньшем расстоянии (до нескольких миллиметров). Густо расположенные трещины непрерывно развиваются, а иногда растут и в глубину, разветвляются и могут привести к разрушению рельса.

Если своевременно провести шлифование, то будет удалена зона уже разрушенного материала с находящимися в нем трещинами и устранена опасность возникновения негативных последствий.

### *Черные пятна*

В прямых и кривых большого радиуса поверхность катания расположена примерно в середине головки рельса. На ней появляются отдельные трещины, которые распространяются в продольном направлении под поверхностью катания параллельно ей. Возникающий в результате развития этих трещин дефект представляет собой неглубокую лунку серповидного или V-образного сечения. В технической международной литературе он получил название черно-

го пятна или вмятины. Иногда возникновение таких дефектов связано с волнообразным износом, а также может быть вызвано вдавливанием в поверхность рельса инородных тел. Трещины развиваются в горизонтальном направлении на глубине в несколько десятых долей миллиметра. Такие трещины приводят к перемещению зоны катания, причем локальная контактная нагрузка увеличивается и способствует росту трещин. Здесь также существует опасность развития трещин в глубину, следствием чего может быть неожиданный излом рельса.

Некоторые черные пятна ликвидируют с помощью наплавки, при большой плотности расположения таких пятен требуется замена рельса. На ранней стадии поврежденная зона может быть устранена шлифованием.

#### Сочетание дефектов *Belgrospi*

На высокоскоростных линиях железных дорог Германии (DB) наблюдаются усталостные дефекты в сочетании с незначительным волновым износом. На высшей точке волны при этом возникает волосая трещина, которая является результатом совместного действия нерегулярно распределенных дефектов в виде микротрещин и мелких вмятин. Этот дефект получил название *belgrospi*. Так как уже небольшой волновой износ (с амплитудой до 0,03 мм) приводит к увеличению динамических сил, то возникновение таких волн на высокоскоростных магистралях указывает на необходимость шлифования рельсов.

#### Стратегия шлифования

Шлифование требуется выполнять с помощью специальных технических средств, причем объем снимаемого материала и получающийся поперечный профиль дол-

жны регламентироваться специальной документацией. Существует три категории шлифовальных мероприятий.

*Превентивные мероприятия* можно осуществлять в том случае, когда еще не возникли дефекты на тех участках, где на базе имеющегося опыта ожидается их появление. При этом реализация этих мероприятий возможна, если темп развития дефектов не превысил определенного установленного предела, требующего съема слоя металла между двумя вмешательствами, например 0,2 мм.

*Корректирующие мероприятия*, как правило, выполняют наиболее часто, чтобы избежать возникновения крупных дефектов. Это могут быть как небольшие интенсивные работы, так и крупные, соответствующие результатам проведенных в определенные сроки измерений.

*Циклические работы* предназначены для устранения дефектов поверхности катания на ранней стадии, когда они еще не представляют опасности, но поддаются контролю. Шлифование рельсов может эффективно гарантировать съем металла в небольших и средних количествах при относительно высокой поездной нагрузке на путь.

Повторяющиеся воздействия колес подвижного состава провоцируют возникновение в рельсах усталостных дефектов. В связи с этим необходима стратегическая защита рельсов, которая предусматривает проведение циклических работ с учетом размера снимаемого поврежденного материала и поддержания специального (так называемого целевого) профиля для обеспечения хорошего состояния поверхности катания в течение всего срока службы.

При этом следует проводить регулярный съем металла в зоне усталостных дефектов, сохраняя поперечный профиль в заданных пределах.

#### Поперечный профиль

##### Значение геометрии поперечного профиля

В процессе шлифования снимается слой металла с поверхности рельса; при этом удаляются волны и вмятины, а также различные усталостные дефекты. В зависимости от глубины дефектов снимается необходимое количество металла, чтобы колеса подвижного состава контактировали с поверхностью катания, не имеющей дефектов. Для поддержания необходимого соотношения сил в контакте используют специальные профили колес и рельсов.

Строго придерживаясь принятой геометрии профилей колеса и рельса, можно избежать сосредоточения нагрузок на небольшой площади и обеспечить стабильное движение подвижного состава. Если геометрия головки рельса не является оптимальной по отношению к геометрии колеса, то напряжения в зоне контакта могут превысить значение, допустимое по прочности рельсовой стали. В результате рано или поздно на поверхности катания рельса появляются трещины.

Даже при новых рельсах не всегда создаются идеальные в этом отношении условия. В дальнейшем по мере эксплуатации они ухудшаются. Этому способствует и то, что современные рельсы со специальной закаленной головкой имеют небольшую способность к истиранию. Вследствие этого геометрия головки явно перестает соответствовать геометрии колеса. Стандарты на рельсы новых железнодорожных линий предусматривают обеспечение оптимальных условий совмещения профилей колеса и рельса с самого начала эксплуатации. Одновременно должны быть устранены небольшие дефекты, возникшие в процессе укладки пути.

## Профили, препятствующие возникновению микротрещин

Для уменьшения усталостных дефектов требуется такой профиль головки рельса, при котором зона контакта колеса и рельса по возможности удалена от критической рабочей грани. Решение этой же проблемы возможно за счет применения такого профиля, при котором происходит постепенное перемещение поверхности катания в поперечном направлении. Это также уменьшает износ в зоне контакта. Подшлифовывание внутренней грани головки рельса уже давно успешно практикуется на линиях с большой нагрузкой. На высокоскоростных магистралях также учитывается происходящее в процессе эксплуатации изменение стандартного профиля. При шлифовании рабочей грани головки рельса предусматривается допуск  $\pm 0,3$  мм.

Чтобы гарантировать оптимальные условия контакта, в последнее

время некоторые железнодорожные компании применяют специальные профили, которые характеризуются увеличенным расстоянием между гребнем бандажа и рабочей гранью головки рельса (рис. 1). В соответствии с местными условиями предложены различные варианты профиля. При этом при подшлифовывании рабочей грани головки рельса допускается съём до 1 мм материала по отношению к стандартному профилю.

Во Франции на сети Национального общества железных дорог (SNCF) разработали два специальных профиля для уменьшения усталостных дефектов на рабочей грани головки рельса. Один из них, а именно профиль АНСР для предотвращения возникновения микротрещин, используется на новых линиях или на тех, где еще не появились указанные дефекты. Если усталостный дефект уже появился, то применяют профиль АНСС (корректирующий), при котором на ра-

бочей грани головки рельса производится съём до 1 мм металла вместо 0,3 мм по отношению к стандартному профилю рельса 60E1 при подуклонке 1:20.

В Нидерландах инфраструктурная компания ProRail разработала специальный профиль АНС для стандартного рельса 54E1. Этот профиль характеризуется съёмом 1 мм металла на рабочей грани головки рельса (рис. 2) и получил обозначение 54E1 АНС.

Иным путем добиваются уменьшения усталостных дефектов на рельсах железные дороги Германии, которые предложили внести в стандарт на изготовление рельсов заданного профиля применение только отрицательных заводских допусков. В отличие от обычной практики рельс профиля 60E2 (при подуклонке 1:40), выпускаемый с симметричным допуском  $\pm 0,3$  мм и предназначенный для укладки на линиях, где возможно появление усталостных дефектов, должен иметь допуск  $+0/-0,6$  мм.

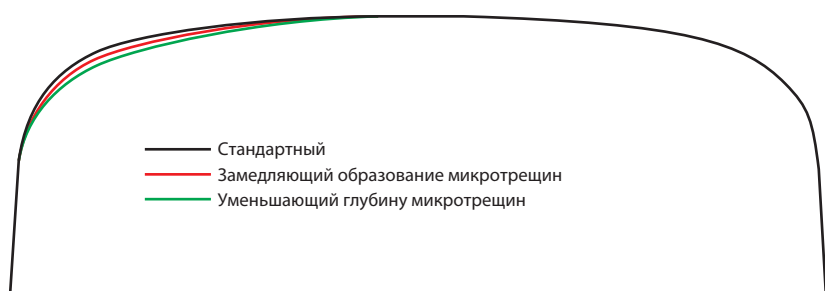


Рис. 1. Принцип построения профилей, предупреждающих возникновение микротрещин

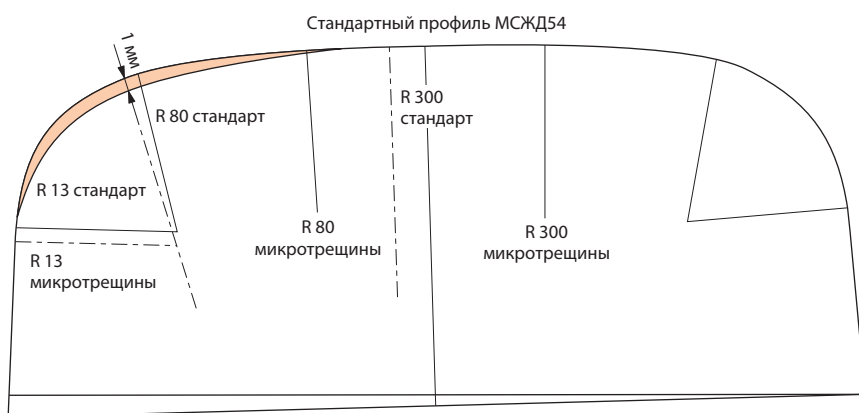


Рис. 2. Профиль 54E1 АНС компании ProRail

## Профили для высокоскоростных линий

На высокоскоростных линиях современный подвижной состав более чувствителен к любым поперечным дефектам пути. Существенным параметром, определяющим устойчивое движение, является так называемая эквивалентная конусность. Значительное влияние на этот параметр со стороны пути оказывают профиль рельсов и их подуклонка, а также ширина колеи. Для линий, на которых скорость движения превышает 200 км/ч, необходимо обеспечивать эквивалентную конусность от 0,05 до 0,3.

Применение так называемого высокоскоростного профиля, базирующегося на низкой эквивалентной конусности, является проверенным решением проблемы усталостных дефектов. На Федеральных железных дорогах Австрии

(ÖВВ) разработан подобный специальный профиль. Радиус головки 130 мм и радиусы боковых граней 60 и 22 мм создают идеальные условия для движения с высокой скоростью при одновременном уменьшении риска возникновения усталостных дефектов на рабочей грани головки рельса (рис. 3)

**Изменение профилей при износе**

Особый профиль использован в Норвегии на рудозвозной линии Malmbanan. Там износ поверхности катания колес при осевой нагрузке от 25 до 30 т приводил к образованию вогнутого профиля, что вызывало перегрузку рабочей грани головки рельса стандартного профиля. В связи с этим был разработан специальный рельсовый профиль, который снижает износ колеса и явно уменьшает усталостные дефекты рельсов (рис. 4).

**Условия съема металла**

Удаление слоя металла может быть проведено только после точного измерения высоты и других геометрических параметров поперечного профиля рельса. При этом измерения должны проводиться в строго определенных точках, в которых также выполняются измерения после шлифования. При разработке технологии выполнения этой работы необходимо установить число проходов шлифовальной машины, при которых обеспечивается заданный съем металла и не требуются постоянные измерения. Эта мера должна гарантировать определенное уменьшение глубины трещин и в отдельных случаях может привести к повышенному съему металла.

В последние годы прошел испытания вихретоковый метод, который позволяет выявлять и оценивать различные повреждения поверхности катания рельсов, а также

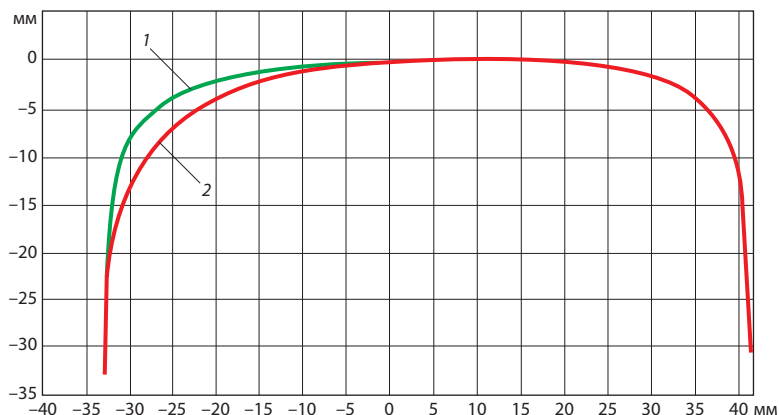


Рис. 3. Профиль рельсов ÖВВ, обеспечивающий низкую эквивалентную конусность: 1 – рельс МСЖД 69-1 (подуклонка 1:10); 2 – рельс ÖВВ (подуклонка 1:40)

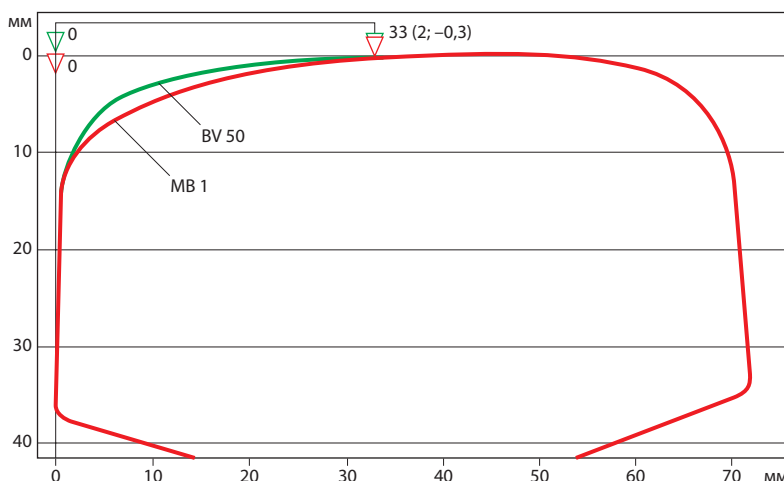


Рис. 4. Специальный MB 1 и стандартный BV 50 (подуклонка 1:30) профили на линии Malmbanan в Норвегии

микротрещины. Используя этот метод, можно контролировать рельсы на большой длине. Компания Speno International (Швейцария) применила его на некоторых своих шлифовальных машинах, что позволило в процессе шлифования контролировать и документировать съем металла и устранение микротрещин, а также измерять глубину остающихся трещин.

Шлифование можно проводить до тех пор, пока усталостные дефекты не будут устранены полностью. Если же перед шлифованием точно не установлена степень повреждения, можно не уложиться в заявленную длительность окна. Чтобы избежать этого и пра-

вильно запланировать окно, необходимо оценить снимаемый слой металла при первой фазе шлифования и измерить глубину оставшихся повреждений перед следующей фазой.

**Современная практика шлифования**

Любая стратегия шлифования зависит от многих параметров; в международной практике наблюдается их значительный разброс. Выбор стратегии определяется местными условиями и загруженностью линии, а также степенью и скоростью развития повреждений поверхности катания рельсов.

Новую стратегию шлифования рельсов, как правило, выбирают для рельсов, на которых ситуация с возникновением микротрещин различна. Для перехода к некоторому стабильному в этом отношении состоянию можно использовать две возможности.

Первая сводится к устранению усталостных дефектов в комплексе при первом корректирующем шлифовании. При этом может потребоваться снятие металла в зоне дефекта на глубину до 3 мм (экономически обоснованный максимум). В случае использования специальных целевых профилей необходимо произвести добавочную подшлифовку зон, расположенных близко к рабочей грани головки рельса, и тех, в которых отрицательный допуск больше (максимально он равен  $-1$  мм). Необходимо использовать машины высокой мощности, чтобы ограничить число проходов при шлифовании. Как альтернатива шлифованию могут применяться фрезерование или строгание. В любом случае обработка дефектов Headcheck должна сопровождаться соответствующими измерениями, чтобы ограничить слой снимаемого металла необходимым минимумом.

Вторая возможность — последовательное выполнение нескольких корректирующих операций, если повреждение не может быть устранено за один проход или в течение предоставленного окна.

В некоторых случаях удаление металла с рабочей грани головки рельса позволяет устранить усталостный дефект и задержать рост трещины на определенное время. В дальнейшем следует проводить циклически повторяющиеся работы, чтобы глубина трещин оставалась более или менее постоянной. Об экономической эффективности такого подхода ведутся острые дискуссии.

Если усталостные дефекты устранить в комплексе и исправить

поперечный профиль, то, возможно, рельсы останутся в пути, пока не исчерпается их ресурс по износу. В благоприятном случае рельсы могут эксплуатироваться до 40 лет.

Современная шлифовальная техника позволяет не только комплексно устранять усталостные дефекты. Машины высокой мощности могут выполнять превентивные работы даже без перерыва в движении поездов, причем создаваемые ими помехи движению минимальны. Для возможно полного устранения повреждений при минимальном съеме металла необходимо снабдить эти машины встроенной измерительной системой по сбору данных, касающихся возникновения микротрещин.

В настоящее время данные, используемые для превентивной обработки усталостных дефектов, получают на основе опыта. Часто исходят при этом из циклического съема слоя металла толщиной от 0,2 до 0,5 мм. Для рельсов R260 в среднеевропейских условиях эксплуатации эти работы выполняют через 2 или 4 года. При эксплуатации высокопрочных рельсов, подверженных небольшим усталостным дефектам, интервалы между шлифованиями могут увеличиться в 2 раза.

### Шлифование рельсов на стрелочных переводах

Усталостные дефекты возможны и на стрелочных переводах. Здесь действуют повышенные динамические нагрузки, возникающие в процессе перехода колесных пар на острия и при пересечении крестовины. Как на подвижных, так и на неподвижных крестовинах могут наблюдаться усталостные дефекты типа вмятин и микротрещин.

Многие компании уже давно используют шлифовальную технику на стрелочных переводах. При этом особенно важно, чтобы идеальный поперечный профиль сохранялся у

используемых рельсов по всей зоне стрелочного перевода. Геометрия головки рельсов, установленных в зоне переводов без подуклонки, должна быть такой же, как и на перегоне с подуклонкой. Это значит, что указанная геометрия должна быть стандартизирована. Специальные профили, предотвращающие возникновение микротрещин, успешно прошли эксплуатационные испытания.

### Рекомендации

Устранение шлифованием усталостных дефектов, расположенных близко под поверхностью катания рельса, а также обработка с жесткими допусками поперечного профиля с целью его изменения не гарантируют от возникновения в перспективе новых проблем, связанных с усталостными явлениями и отрицательно влияющих на уровень безопасности движения. При циклическом проведении шлифования, направленного на устранение усталостных дефектов, фактически происходит регулируемый искусственный износ рельсов. Естественный же износ настолько мал, что при тщательном выборе толщины снимаемого металла срок службы значительно увеличивается. Это увеличение таково, что расходы жизненного цикла оказываются намного ниже, чем при нерегулярном проведении работ по текущему содержанию пути.

Шлифование рельсов является комплексной задачей в рамках текущего содержания пути, поэтому его следует рассматривать с технической, оперативной и экономической точек зрения. Самые лучшие технические решения не имеют смысла, если не приносят экономической выгоды или если при их практической реализации возникают значительные трудности. Слишком большой или вообще неконтролируемый съем металла при

устранении усталостных дефектов шлифованием обуславливает повышенный искусственный износ, что приводит в дальнейшем к более ранней замене рельсов.

Теоретическое изучение и накопленный практический опыт позволяют установить критерии минимизации усталостных дефектов, которые можно обеспечить с помощью различных видов шлифования: превентивного для новых рельсов, коррекционного и цикли-

ческого. Это дает возможность продлить срок службы рельсов в пути. На рельсах, где уже возникли усталостные дефекты, следует проводить одноразовое корректирующее шлифование при систематическом уходе за рельсами.

Современные измерительные системы для учета и документирования мест возникновения микротрещин в процессе шлифования позволяют снимать металл в строго установленных пределах. Использо-

вая стратегии, созданные с учетом международного опыта, можно в дальнейшем уточнять технические условия на обработку, проводимую с целью устранения усталостных дефектов, и тем самым увеличивать срок службы рельсов.

По материалам компаний *Speno International* ([www.speno.ch](http://www.speno.ch)) и *Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung* (<http://www.ndt.net/article/dgzfp2009/Inhalt/di2b2.pdf>).

## Будущее приближается

В современном мире железнодорожная отрасль не может устойчиво развиваться без международных контактов, обмена опытом и знаниями, привлечения передовых технологий и технических решений со всего мира. На наших глазах происходят фундаментальные изменения на Российских железных дорогах — мы видим современные поезда, продолжаются структурные реформы, в железнодорожную промышленность приходят новые технологии, крупнейшие компании — изготовители железнодорожной техники уже осуществляют локализацию производства в России.

Обязательным условием для успешной модернизации отечественной железнодорожной отрасли является доступ к информации о новых проектах в России и за рубежом, событиях на рынках железнодорожной техники, научных исследованиях, о новых технологиях и опыте их внедрения на железных дорогах мира.

Именно такую цель — сделать эту информацию более доступной для отечественных специалистов — ставит перед собой журнал «Железные дороги мира».

**Подписной индекс** ежемесячного журнала «Железные дороги мира» — 70306 (для подписки на весь год — индекс 87096).

Информацию о подписке (в том числе в странах дальнего зарубежья) можно получить по телефону +7 (499) 317-55-65 или на сайте [www.zdmira.ru](http://www.zdmira.ru).

Профессиональный журнал  
о современных железных дорогах

ЖЕЛЕЗНЫЕ  
ДОРОГИ  
МИРА

