



Аксенов Владимир Алексеевич — заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заместитель главного инженера Московской железной дороги — филиала ОАО «РЖД». Родился в 1947 г. В 1970 г. окончил Новосибирский электротехнический институт. С 1998 по 2006 г. — заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», научный руководитель НИЛ «Технология транспортного машиностроения и ремонт подвижного состава» Сибирского государственного университета путей сообщения. Им опубликовано более 200 научных работ, в том числе 2 монографии, 1 учебник и 6 учебных пособий.



Ильиных Андрей Степанович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», старший научный сотрудник НИЛ «Технология транспортного машиностроения и ремонт подвижного состава». Родился в 1980 г. Окончил Сибирский государственный университет путей сообщения в 2002 г. по специальности «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования». Опубликовал около 30 научных статей, имеет 3 патента и авторских свидетельства.

УДК 625.143:621.92

В.А. АКСЕНОВ, А.С. ИЛЬИНЫХ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ В ПУТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ РЕЛЬСОВ

Статья посвящена перспективам развития технологического процесса шлифования рельсов, его достоинствам и недостаткам. Представлены результаты проведенных исследований по оценке физико-механических свойств рельсов в процессе эксплуатации и после шлифования. Даны рекомендации по выбору рациональных режимов и условий шлифования рельсов в пути.

Железнодорожный транспорт Российской Федерации имеет исключительно важное значение в жизнеобеспечении многоотраслевой экономики и реализации социально значимых услуг. На его долю приходится более 75 % грузооборота и 40 % пассажирооборота, выполняемых транспортом общего пользования. От состояния железнодорожного пути зависит непрерывность и безопасность движения поездов, объемы перевозок, а также эффективность использования подвижного состава.

В современных условиях подавляющее большинство полных, а также около 20 % частичных отказов железнодорожного пути происходит из-за накопления в процессе эксплуатации повреждений рельсов. При этом существенную долю составляют отказы рельсов по причине контактно-усталостных повреждений. Отказ рельса является отказом пути в целом, в то время как при отказе какого-либо элемента рельсового основания, например, шпалы или подкладки, происходит перераспределение нагрузки на соединительные элементы. Поэтому эксплуатационной стойкости рельсов придается большое значение в путевом хозяйстве железнодорожного транспорта [1].

Важнейшим фактором оптимизации расходов путевого хозяйства железных дорог является применение ресурсосберегающих технологий, позволяющих продлевать межремонтные периоды и снижать трудоемкость текущего содержания пути. Одним из наиболее перспективных направлений в ресурсосбережении является шлифование рельсов, которое обеспечивает продление срока их службы на 30–40 % и дает значительные преимущества в области экономии материальных ресурсов, безопасности движения и экологии.

Профильную шлифовку головки рельса осуществляют рельсошлифовальными поездами (РШП) с вращающимися шлифовальными кругами, которые можно устанавливать под различными углами к головке рельса. Процесс шлифования при этом происходит по схеме плоского шлифования торцом круга (рис. 1).

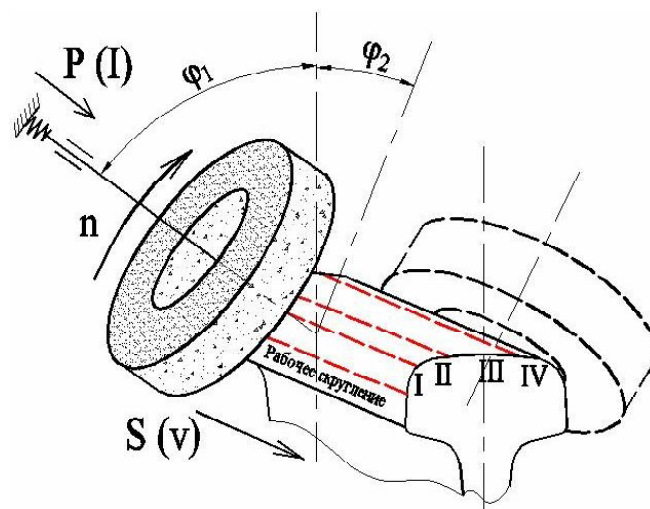


Рис. 1. Схема наклона шлифовальных кругов при формировании профиля рельса

В настоящее время при выборе режимов шлифования не учитывается состояние металла рельсов, уровень макро- и микронапряжений, не контролируется развитие внутренних дефектов рельсов.

При обработке шлифованием формируется качественно новый уровень физико-механических свойств поверхности, который играет значительную роль в обеспечении усталостной прочности и общей долговечности рельсов. Установлено, что основными параметрами качества поверхности, которыми можно управлять в процессе механической обработки шлифованием, тем самым изменяя уровень эксплуатационных свойств рельсов, являются шероховатость поверхности и микротвердость поверхностного слоя. В совокупности эти параметры определяют физическое состояние поверхности рельса после механической обработки и склонность к усталостному разрушению.

Поэтому установление реального влияния процессов шлифования на эксплуатационную стойкость рельсов является в настоящее время весьма актуальной проблемой.

С целью решения этой задачи нами проведен анализ процессов зарождения и динамики развития поперечных трещин усталости в рельсах в зависимости от длительности и условий эксплуатации, а также сделана оценка изменения физико-механических свойств и структуры металла поверхностного слоя головки рельса. Исследования напряженно-деформированного состояния и структуры

рельсов проводили на темплетях, вырезанных из головок рельсов с различным сроком эксплуатации, после их профильного шлифования. Рельсы изымали с прямых участков пути, имеющих сходные условия эксплуатации.

Проведенные исследования позволили определить оптимальное состояние поверхностного слоя головки рельсов после механической обработки шлифованием. Установлено, что для обеспечения повышенной трещиностойкости необходимо производить шлифование рельсов с параметрами технологического процесса, обеспечивающими высоту микронеровностей $R_z = 40 \dots 60$ мкм, в зависимости от исходной твердости рельсов. При этом с увеличением начальной твердости рельсов происходит снижение шероховатости, необходимой для формирования поверхности с повышенными эксплуатационными свойствами [2].

Изучение общих характеристик рельсов показало, что в результате эксплуатации в пути значительно изменяются механические свойства по сечению головки рельса. Прежде всего происходит резкое изменение твердости по периметру головки (рис. 2), что свидетельствует о значительном наклепе металла у рабочей выкружки. При этом в большинстве случаев наибольший наклеп по периметру простирается на одну треть головки (с максимальным расстоянием 6–9 мм от боковой рабочей выкружки).

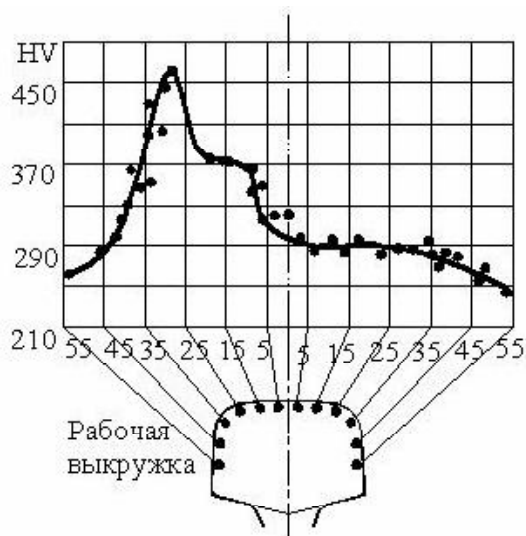


Рис. 2. Изменение твердости по периметру головки рельса

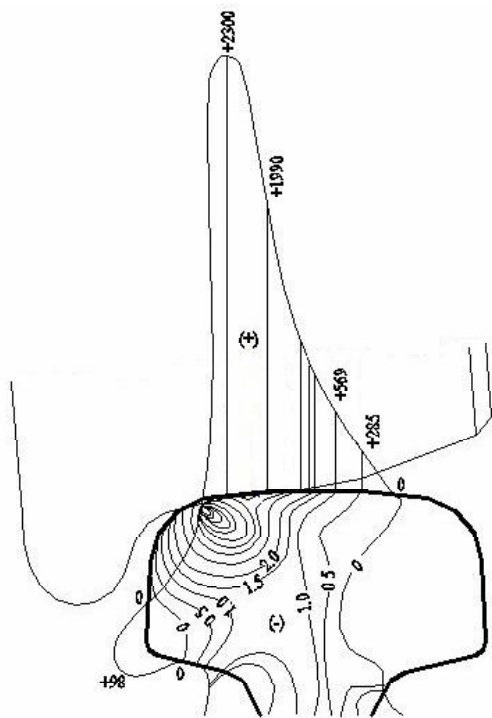


Рис. 3. Распределение напряжений по контуру головки рельса

Неравномерное изменение твердости головки рельса обуславливается, прежде всего, особым распределением напряжений по контуру головки в процессе эксплуатации. Изменение твердости по контуру головки работавшего рельса соответствует распределению напряжений, показанному на рис. 3.

Результаты проведенного эксперимента позволили нам определить, что минимальная шероховатость на поверхности головки рельса формируется, как правило, в зоне развития поперечных усталостных трещин, которые в процессе механической обработки начинают вскрываться. При этом зарождение поперечных трещин происходит внутри головки, которые до выхода на боковую грань имеют очертания эллипса, т.е. очертания площадки контакта колеса с рельсом. Это

указывает на основную роль контактных напряжений при их образовании. Большие оси этих эллипсовидных трещин расположены преимущественно на расстоянии 6...9 мм от боковой рабочей грани головки и, по-видимому, совпадают с местом максимальных напряжений, рассосредоточенных по ее контуру.

Поскольку в развитии усталостных поперечных трещин первостепенную роль играют остаточные напряжения растяжения, нами сформирована математическая модель и разработан алгоритм расчета остаточных напряжений, возникающих в процессе шлифования в поверхностном слое головки рельса. Это позволило обоснованно подойти к назначению режимов шлифования с точки зрения обеспечения необходимого уровня эксплуатационных свойств металла рельсов.

На основе проведенных исследований были сделаны следующие выводы.

- Установлено, что с увеличением времени эксплуатации возрастает площадь головки рельса, занимаемая трещинами, а также глубина их залегания. Так, если в рельсах с наработкой 100 млн т брутто трещины наблюдали на глубине до 1,5 мм, то при пропущенном тоннаже 430 млн т брутто их фиксировали на глубине 2–4,5 мм. В рельсах с наработкой 600 и более млн т брутто основная масса трещин располагалась на глубине 5–10 мм от поверхности катания в зоне рабочей выкружки рельса.

- Металлографически доказано, что усталостные поперечные трещины зарождаются не только от неметаллических включений, как это утверждается большинством исследователей, но также и на переходном участке наклепанного и ненаклепанного слоев металла головки рельса.

- Найдено количественное соотношение между изменением микротвердости в поверхностном слое головки рельса и временем эксплуатации. Так, по рабочей выкружке при наработке 100 млн т брутто микротвердость увеличилась в 1,4 раза, при наработке 430 млн т брутто — в 1,9 раза и при наработке 600 млн т брутто — в 2 раза по сравнению с аналогичными данными для нового рельса. По оси катания микротвердость повышалась менее интенсивно и практически не изменялась на нерабочей выкружке головки рельса. При наработке свыше 700 млн т брутто происходит резкое падение микротвердости.

- Установлено, что глубина и интенсивность наклепа непрерывно возрастают с увеличением объема эксплуатационной наработки. Максимальное значение наклепа было зафиксировано при эксплуатационной наработке 700 млн т брутто и составило 8 мм по рабочей выкружке, 5 мм по оси катания рельса и 3,5 мм в зоне нерабочего скругления рельса. При дальнейшем увеличении объема наработки глубина наклепанного слоя оставалась на прежнем уровне. Аналогично протекали изменения интенсивности наклепа: до наработки 600 млн т брутто происходит увеличение интенсивности, после чего процесс упрочнения замедляется.

- При исследовании наклепанного слоя на поверхности рельсов после различного времени эксплуатации отмечена существенная неоднородность наклепа по поперечному сечению головки рельса, связанная с неравномерным распределением нагрузки от колеса на рельс и локализацией пластической деформации вокруг концентраторов. Наиболее ярко это проявляется на рельсах со значениями эксплуатационной наработки более 300 млн т брутто. Это создает градиент напряжений не только по глубине металла, но и в горизонтальной оси в направлении нерабочего скругления.

• Рентгеноструктурным анализом установлено, что в процессе эксплуатации на поверхности головки рельсов возникает высокий уровень напряжений второго рода и высокая плотность дислокаций за счет неоднородной локальной деформации. Так, при эксплуатационной наработке 100 млн т брутто напряжения составляют 308 МПа, плотность дислокаций $7 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$, размер области когерентного рассеяния $2\text{--}5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$. Наибольшая величина этих параметров наблюдается на поверхности головки рельсов, резкое их снижение зафиксировано на глубине приблизительно 0,2–0,3 мм. На глубине 0,6–0,8 мм они достигают исходного состояния, характерного для рельсовой стали в объемно-закаленном состоянии.

• Предложена модель механизма разупрочнения поверхностного слоя головки рельсов с позиции ротационной пластичности. Смену характера пластической деформации, т.е. наличие ротационных процессов подтверждает отсутствие текстуры в поверхностном слое рельсов с наработкой 760 и более млн т брутто.

• Расчетами по предложенной математической модели показано, что остаточные напряжения на поверхности головки рельса не зависят от длительности эксплуатации и определяются температурой в зоне резания. Наиболее неблагоприятным является диапазон температур 500–700 °С, когда возникают растягивающие остаточные напряжения максимальной величины. Доказано, что применяемая технология шлифования рельсов отрицательно сказывается на их долговечности, поскольку при температуре в зоне контакта рельс — абразивный круг 650 °С на поверхности формируются растягивающие остаточные напряжения, близкие по величине к максимально возможному значению.

• Проведена оптимизация существующего технологического процесса шлифования рельсов в пути за счет выбора рациональных режимов обработки посредством управления уровнем остаточных напряжений в поверхностном слое головки рельса.

Технологический процесс шлифования должен включать следующие этапы:

а) предупредительное шлифование рельсов с периодичностью наработки 40–50 млн т брутто абразивным инструментом зернистости 40, одним проходом на глубину 0,1 мм при максимальной скорости рельсошлифовального поезда;

б) восстановительное шлифование рельсов рекомендуется проводить с периодичностью наработки 300 млн т брутто абразивным инструментом зернистости 125. Количество проходов должно быть достаточным для формирования заданного геометрического профиля головки рельса. На последнем проходе рекомендуемая глубина шлифования 0,1 мм при зернистости абразивного инструмента 40 и максимальной скорости поезда.

Предложенные режимы предупредительного шлифования позволят снять часть наклепанного слоя, и возникающие на поверхности катания напряжения растяжения будут незначительной величины. Температура разогрева металла рельса не приведет к разупрочнению всего наклепанного поверхностного слоя, и трещины, расположенные под ним, не выйдут на поверхность катания.

При длительности эксплуатации с наработкой в 40–50 млн т брутто рельсы имеют малый износ. Предупредительное шлифование в таких условиях формирует геометрическое очертание головки, близкое к профилю нового рельса, т.е. способствует распределению нагрузки от колеса на ось катания рельса, а не на зону рабочей выкружки, что обеспечит более равномерный износ рельсов. Смещение зоны максимальных напряжений с рабочей выкружки, являющейся

эпицентром зарождения усталостных дефектов, не даст им развиваться в серьезные повреждения.

Восстановительное шлифование, осуществляемое в три и более проходов при малой скорости рельсошлифовального поезда, является достаточно медленным и дорогим процессом улучшения служебных свойств рельсов, к которому следует прибегать для формирования геометрического профиля сильно изношенных рельсов.

Применение в процессе шлифования последнего технологического прохода позволит получить на поверхности катания рельсов приемлемый уровень шероховатости и тем самым повысить долговечность рельсов.

Сочетание предупредительного шлифования с восстановительным даст возможность увеличить срок службы рельсов и сократить общие расходы на содержание пути.

Таким образом, внедрение предложенных рекомендаций в практику эксплуатации железных дорог России позволит продлить долговечность рельсов, повысить безопасность движения поездов и получить значительный экономический эффект.

Литература

1. *Шлифование* — эффективный способ восстановления железнодорожных рельсов / В.А. Аксенов, В.А. Шаламов, С.В. Щелоков, А.С. Ильиных, В.В. Райт, А.Б. Чаплыгин // Теория, технология и оборудование для производства абразивного инструмента: Сб. науч. тр. Челябинск, 2003. С. 85–89.
2. *Ильиных А.С., Тихомирова Л.Б., Тепляков С.И.* Экспериментальная оценка влияния параметров качества поверхности на характеристики усталостного разрушения рельсов // Вестн. СГУПС. 2005. № 11. С. 63–69.