

дозировщик балласта навесной; блок навесной для перегонки шпал по меткам и разгонки стыковых зазоров; агрегат выправочно-подбивочный.

Область эффективного применения комплекса: балластировка пути на малых рассредоточенных объектах железнодорожных линий II–IV категорий, при производстве работ на новых линиях и вторых путях, реконструкции и восстановлении железнодорожных участков, при переустройстве станционных, постройке подъездных путей к предприятиям промышленности и агропромышленным комплексам.

Эффективное использование комплекса в значительной мере определяется его мобильностью. Мобильность достигается наличием комбинированного хода, скоростью передвижения машины по железным и грунтовым дорогам, возможностью быстрого перевода машины и блоков из транспортного в рабочее положение, с грунтового – на железнодорожный ход и обратно, быстрой заменой блоков и другими показателями.

Транспортная скорость базового тягача с навесным блоком по железным и грунтовым дорогам составляет до 40 км/ч. Перевод машин с железнодорожного хода на пневмоколесный (на ж.-д. переезде или местах с временным настилом из шпал, на «нулевых» местах участков ж.-д. пути, задозированных балластом) не превышает 7 мин. Это позволяет с небольшими затратами времени доставлять машины от места дислокации к месту работ, быстро заменять съемные блоки в процессе балластировочных работ, оперативно пропускать по месту работ рабочие поезда, со съездом базового тягача с ж.-д. пути. При перевозке машин по железным дорогам на дальние расстояния весовые и габаритные характеристики машин позволяют использовать обычный подвижной состав (платформы, полувагоны).

Учитывая высокую мобильность комплекса, появляется возможность вести балластировку пути на двух и более объектах одновременно по предварительно разработанному графику производства работ, в котором учтены конкретные условия строительства или восстановления: типы верхнего строения пути, степень готовности объектов к балластировке, сроки поступления материалов, состояние дорог (как грунтовых, так и железных) и условия передвижения по ним. Это дает возможность значительно повысить коэффициент использования машин.

УДК 625.143

## АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РЕЛЬСОВ

*А. А. КЕБИКОВ, В. П. КРУПОДЕРОВ, Н. Е. МИРОШНИКОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта*

Железнодорожные рельсы подвергаются воздействию пространственной системы циклических нагрузок. Кроме того, под воздействием колес подвижного состава, по мере наработки тоннажа, происходит уменьшение размеров головки рельсов (вертикальный, боковой и волнообразный износ) и изменение ее формы, что является следствием работы сил трения в зонах контакта колеса и рельса.

Современная методика оценки механического состояния железнодорожных рельсов должна базироваться на научно обоснованном критерии, учитывающем взаимосвязи между характеристиками механических свойств материала, и что рельсы работают в условиях одновременного сочетания изгибной и контактной усталости – контактно-механической усталости. Проблема оценки прочности и надежности работы рельсов состоит в том, что она выполняется по результатам испытаний, для которых необходимо много времени и образцов. Таким образом, методика должна быть экспрессной, сочетать экспериментальные и расчетные подходы.

В докладе даны обзор и анализ исследований по установлению взаимосвязей между характеристиками механических свойств сталей как первый шаг к разработке метода оценки состояния железнодорожных рельсов в процессе эксплуатации.

Главная идея всех известных методов состоит в том, что предел выносливости рассчитывают по какому-либо характеристикам механическим свойствам, которые определяют экспериментально и просто.

Взаимосвязь предела прочности  $\sigma_B$  и предела выносливости  $\sigma_{-1}$  ( $\tau_{-1}$ ). Для гладких полированных образцов обнаруживается пропорциональное увеличение  $\sigma_{-1}$  с ростом  $\sigma_B$ :

$$\sigma_{-1} = a\sigma_B, \quad (1)$$

где  $a = 0,4 \dots 0,6$  – для стали;  $a = 0,3 \dots 0,4$  – для латуни;  $a = 0,3 \dots 0,5$  – для бронзы;  $a = 0,25 \dots 0,4$  – для алюминиевых сплавов, что приводят к приближенной зависимости при оценке взаимосвязи указанных характеристик для рельсовой стали:

$$\sigma_{-1} = 0,5\sigma_B. \quad (2)$$

Зависимость предела выносливости при кручении  $\tau_{-1}$  от  $\sigma_B$  описывается уравнением

$$\sigma_{-1} = 0,27\sigma_B. \quad (3)$$

Взаимосвязь предела выносливости  $\sigma_{-1}$  с относительными сужением  $\psi$  и удлинением  $\delta$  после разрыва. Для оценки зависимости  $\sigma_{-1}$  от  $\psi$  и  $\delta$  применяют приближенные формулы

$$\sigma_{-1} = a\psi + b, \quad (4)$$

где  $a = -0,234 \dots -0,312$ ;  $b = 45,6 \dots 65,6$ ;

$$\sigma_{-1} = a\delta + b, \quad (5)$$

где  $a = -0,500 \dots -0,878$ ;  $b = 44,60 \dots 50,24$ , что свидетельствует о слабой корреляции между этими характеристиками.

Взаимосвязь между пределом выносливости  $\sigma_{-1}$  и пределом текучести  $\sigma_{0,2}$  ( $\sigma_{0,1}$ ). В Великобритании обычно используется условный предел текучести  $\sigma_{0,1}$ , представляющий собой напряжение, которое необходимо приложить, чтобы произвести пластическую деформацию, равную 0,1 % и определенную по отклонению от линейной части кривой растяжения. В России, Беларуси, США и Германии обычно используется условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , соответствующий тому напряжению, которое требуется, чтобы сместить на 0,2 % линейную часть диаграммы растяжения. Различие между условными пределами текучести  $\sigma_{0,1}$  и  $\sigma_{0,2}$  невелико, и так как в результатах усталостных испытаний неизбежны большие ошибки, то опубликованные результаты по изучению изменения  $\sigma_{-1}$  в зависимости от  $\sigma_{0,1}$ ,  $\sigma_{0,2}$  свидетельствуют о приближенной зависимости

$$\sigma_{-1} = 0,43\sigma_{0,2} + 10,5, \quad (6)$$

т. е. рост предела текучести ведет к пропорциональному повышению  $\sigma_{-1}$ .

Взаимосвязь между пределом выносливости и твердостью (НВ – по Бринеллю). Известно, что рост твердости металла ведет к пропорциональному повышению сопротивления усталости. Корреляционная связь этих величин обычно дается формулами

$$\sigma_{-1} = 0,13НВ + 46,4 \quad (7)$$

или

$$\sigma_{-1} = aНВ, \quad (8)$$

где  $a = 0,128 \dots 0,156$  – для углеродистой стали;  $a = 0,168 \dots 0,222$  – для легированных сталей;  $a = 0,178$  – для железа;  $a = 0,120$  – для сплавов на основе меди.

Взаимосвязь между пределом контактной усталости  $p_f$  и твердостью. Обычно с ростом твердости  $p_f$  увеличивается. Разные структуры металла, даже если они однородны, обнаруживают разное сопротивление контактной усталости. Так, переход от структуры одного типа, например пластинчатого сорбита закалки рельсовой стали, к структуре другого типа, например глобулярного сорбита отпуска той же стали, нарушает непрерывную связь между  $p_f$  и твердостью, существующую в пределах каждого типа структуры. Экспериментальные результаты хорошо описываются зависимостью

$$p_f = 3,12НВ. \quad (9)$$

Взаимосвязь между пределом прочности  $\sigma_B$  и твердостью также широко известна:

$$\sigma_B = 3,50НВ. \quad (10)$$

Как видно из выполненного анализа, методика оценки механического состояния рельсовой стали в зоне контакта рельса с колесом может быть основана на измерении твердости на рабочих поверх-

ностях головки рельса, так как твердость наиболее легко определить (в т. ч. и в эксплуатационных условиях), а прибор для ее измерения может быть малогабаритным и переносным. По измеренной твердости расчетными методами, на основании взаимосвязей, легко найти характеристики прочности и сопротивления усталости.

УДК 625.142; 625.143.03

## СТРУКТУРА ДЕФЕКТОВ РЕЛЬСОВ ДЛЯ ГЛАВНЫХ ПУТЕЙ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*А. А. КЕБИКОВ, В. И. МАТВЕЦОВ, В. П. КРУПОДЕРОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта*

*В. И. ЛАВРИСЮК*  
*Белорусская железная дорога*

Выход рельсов по дефектам является величиной, в высокой степени характеризующей безопасность движения поездов как в путевом хозяйстве, так и на всей дороге в целом.

В пути постоянно находится от 18 до 20 тыс. дефектных рельсов, ежегодно обнаруживается 3500–5000 остродефектных и 4000–5000 дефектных рельсов. При этом ежегодно происходит 6–8 внезапных отказов рельсов под проходящими поездами, что чревато тяжелыми последствиями. Поэтому основными задачами, стоящими перед работниками путевого хозяйства дороги, являются исключение возможности излома рельсов под поездами и своевременное обнаружение и замена опасных для движения поездов рельсов.

На всех главных путях основных направлений дороги тип верхнего строения пути соответствует условиям эксплуатации, что подтверждается предварительными расчетами пути на прочность и устойчивость для обращающегося на дороге подвижного состава. Напряжения в рельсах и других элементах верхнего строения пути меньше допускаемых, поэтому имеется резерв для повышения скоростей движения по бесстыковому и звеньевому путям с рельсами типа Р65. При рельсах типа Р50 прочность пути соответствует нагрузкам обращающегося подвижного состава с установленными скоростями. Барьерным местом являются участки пути с рельсами типа Р43 и легче, на которых установлены ограничения скорости из-за недостаточной прочности и мощности пути такой конструкции. Поэтому для повышения скоростей и уровня безопасности движения поездов необходимо, в первую очередь, заменить рельсы типа Р43 на более мощные, а участки с рельсами типа Р50 – в плановом порядке на путь с рельсами типа Р65.

Контроль за эксплуатационной стойкостью и надежностью рельсов ведется с использованием ведомостей учета изъятых рельсов формы ПУ-4. Согласно приказу № 545 НЗ от 23.08.2006 г. со второго квартала 2006 г. на всех дистанциях пути Белорусской железной дороги эти ведомости заполняются ежеквартально.

На дороге лежат рельсы производства четырех меткомбинатов бывшего Союза: Кузнецкого (КМК), Нижнетагильского (НТМК), Днепропетровского (ДГЗ) и «Азовсталь». В настоящее время в основном используются рельсы выпуска «Азовсталь» с поверхностной закалкой головки рельсов и объемно-закаленные рельсы НТМК типа Т1. Такая тенденция, вероятно, сохранится и на ближайшее будущее. В таблице 1 выполнен анализ выхода рельсов по типичным группам дефектов для всех дистанций пути за 2006 г. (исключая ПЧ-5, ПЧ-7 и ПЧ-20 из-за неполноты представленных данных) для звеньевом и бесстыкового путей.

Максимальное число дефектов в звеньевом пути обнаружено в рельсах производства Нижнетагильского металлургического комбината – 592 шт. По металлургическому комбинату «Азовсталь» – 508 шт., а по Кузнецкому металлургическому комбинату – 83 шт. Наибольшую долю вносят дефекты контактно-усталостного происхождения. По заводам-изготовителям их процентное соотношение колеблется от 46 («Азовсталь») и 45 (Нижнетагильский МК) до 29 % (Кузнецкий МК) от общего числа дефектов по каждому из заводов.