



**Тихомирова Людмила Борисовна** — кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Сибирского государственного университета путей сообщения. В 1963 г. окончила Новосибирский электротехнический институт. С 1970 работает в СГУПСе. Имеет 230 печатных работ, в том числе 2 монографии.



**Болотова Ольга Викторовна** окончила Сибирский государственный университет путей сообщения в 2000 г. В 2003 г. защитила диссертационную работу на соискание ученой степени кандидата технической наук. В настоящее время доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин». Имеет более 20 печатных работ.

УДК 625.143:620.17

Л.Б. ТИХОМИРОВА, О.В. БОЛОТОВА

## ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И СТРУКТУРЫ ГОЛОВКИ РЕЛЬСА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассмотрено изменение физико-механических свойств и структуры головки рельсов в процессе эксплуатации.

В процессе эксплуатации под воздействием колес подвижного состава происходит непрерывное изменение физико-механических свойств рельсов. Для выявления природы изменения свойств рельсов, определяющих их эксплуатационные качества, нами проводились физико-механические и структурные исследования.

Влияние длительности эксплуатации на физико-механические свойства материала головки рельса проследили по результатам измерения микротвердости новых рельсов и рельсов с различной эксплуатационной наработкой, металлографический анализ структуры осуществляли методом оптической микроскопии.

Измерения показали, что поверхностные слои металла головки нового рельса имеют отличные от основного металла значения микротвердости. Наибольшей микротвердостью обладает поверхностный слой — 3600–3700 МПа. По мере удаления от поверхности микротвердость снижается и достигает минимального уровня на глубине 0,5–2 мм. При переходе к внутренним слоям металла значение микротвердости стабилизируется и составляет для нового рельса в объемно-накаленном состоянии 3000–3100 МПа. Такой характер изменения микротвердости по высоте головки рельса в исходном состоянии связан с различием в структуре

поверхностных и внутренних слоев. Металлографический анализ показал, что поверхностный слой представляет собой окалину, ниже которой располагается обезуглероженный слой. Эти слои металла головки, обладая пониженными показателями механических свойств, ухудшают эксплуатационные характеристики рельсов. В процессе эксплуатации, с увеличением объема наработки до определенного уровня, в поверхностном слое головки рельсов наблюдалось непрерывное увеличение микротвердости (рис. 1). 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 изменилась по нерабочей выкружке головки рельса. Такое различие в значениях микротвердости по поперечному сечению головки рельса связано с неравномерным распределением нагрузки от колеса на рельс, когда максимальное давление приходится именно на зону рабочей выкружки. Металл в этой области упрочняется наиболее интенсивно и, соответственно, происходит более значительное увеличение микротвердости.

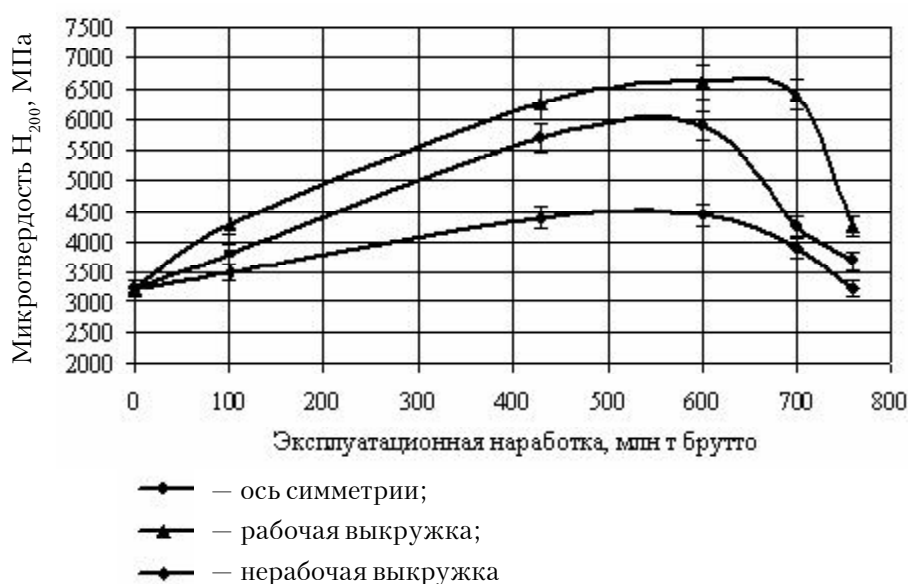


Рис. 1. Изменение микротвердости в поверхностном слое головки рельса в процессе эксплуатации

При наработке, соответствующей моменту изъятия рельсов из пути, происходит резкое снижение микротвердости в поверхностном слое головки рельса, свидетельствующее о протекании процессов разупрочнения. Падение микротвердости наблюдается сначала по оси катания, после чего начинается разупрочнение рабочей выкружки.

Разупрочнение поверхностного слоя в процессе эксплуатационной наработки подтверждено также данными металлографического анализа (рис. 2). На темплете можно выделить несколько характерных слоев. Первый слой — это разупрочненный металл, в котором отсутствуют следы пластической деформации.

Ниже располагается наклепанный слой с ярко выраженной текстурой. По мере удаления от поверхности темплета текстура становится менее выраженной

(слой 3), но следы пластической деформации еще отчетливо видны. Четвертый слой представляет собой основной металл.

Разупрочнение поверхностного слоя, фиксируемое по падению микротвердости, связано, по нашему мнению, с началом протекания ротационных процессов, при которых меняется характер пластической деформации: происходит не сдвиг фрагментов, а их разворот [1, 2]. Ротационная деформация способствует ускорению протекания релаксационных процессов. То, что процесс разупрочнения начинается с оси катания, объясняется непрерывным износом рабочей грани головки рельса в процессе эксплуатации и постепенным смещением нагрузки от колеса на рельс в сторону оси катания.

В процессе эксплуатации рельсов до определенного объема наработки происходит постепенное увеличение глубины наклепанного слоя (рис. 3). Так, для рельсов с наработкой 100 млн т брутто глубина наклепа по рабочей выкружке составляет 2 мм, 4 мм — при наработке 430 млн т брутто и 6 мм — при наработке 600 млн т брутто. Менее значительно глубина наклепа возрастает по оси катания и нерабочей выкружке головки рельса.

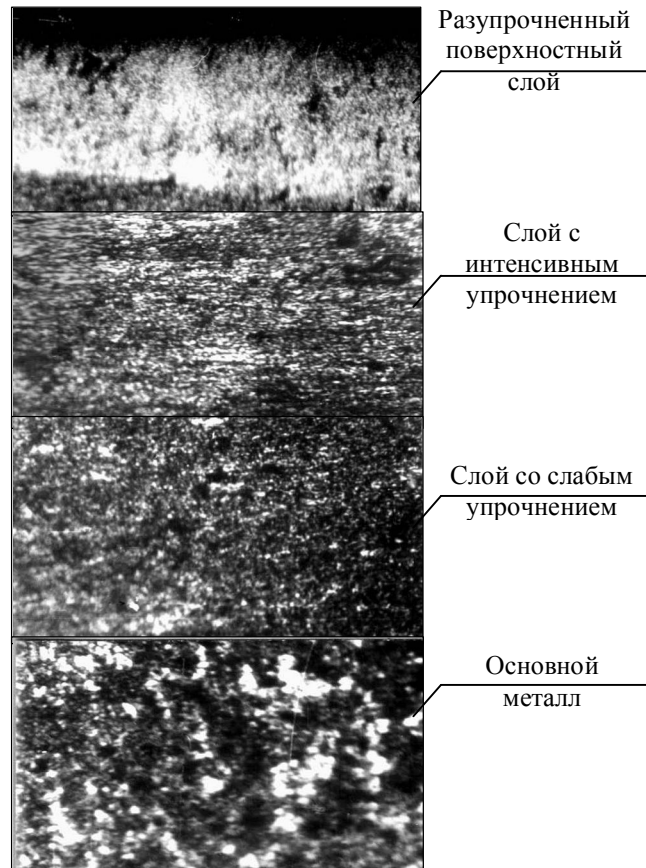


Рис. 2. Структура металла головки рельса с эксплуатационной наработкой 760 млн т брутто

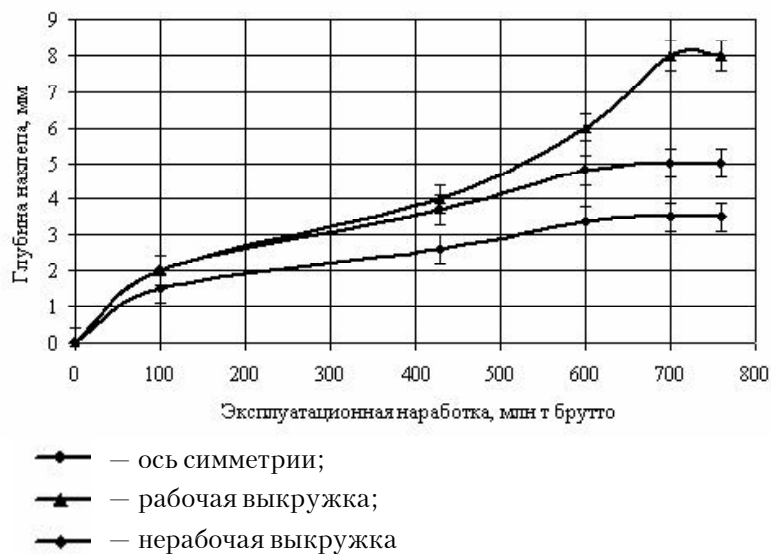
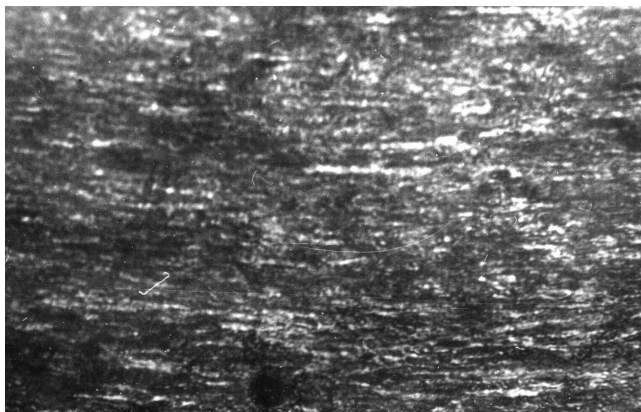


Рис. 3. Изменение глубины наклепанного слоя головки рельсов в зависимости от времени эксплуатации

а)



б)



в)



г)



Рис. 4. Микротвердость и структура металла поверхностного слоя головки рельса:  
 а — микротвердость головки рельса до и после шлифования; б — структура металла головки рельса до шлифования; в — структура металла головки рельса после шлифования;  
 г — микротвердость головки рельса после шлифования и с последующей наработкой

Изменение микротвердости и металлографический анализ металла головок рельсов после профильного шлифования показали, что применяющаяся в настоящее время технология восстановления служебных свойств рельсов приводит к разупрочнению поверхностного слоя, выражающемуся в снижении микротвердости (рис. 4, *а*) и изменении структуры металла (рис. 4, *б, в*). Если до шлифования структура металла поверхностного слоя головки рельса имела характерную для наклепа ярко выраженную ориентацию зерен, то после шлифования она приблизилась к структуре исходного объемно-закаленного рельса. Микротвердость поверхностного слоя падает до уровня, соответствующего объемно-закаленному состоянию, вследствие частичного снятия эффекта упрочнения теплом, выделяющимся в процессе шлифования. В этот момент трещины, зародившиеся в процессе эксплуатации, выход которых на поверхность тормозился наклепанным слоем, получают интенсивное развитие, в результате чего значительно снизится долговечность рельсов.

При дальнейшей эксплуатации вновь происходит накопление пластической деформации, возникает наклеп, и микротвердость поверхностного слоя повышается вновь (рис. 4, *з*).

Таким образом, проведенные исследования показали, что характер распределения микротвердости по профилю головки рельса и структура металла головки рельса определяются эксплуатационно-технологическими факторами.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что необходимо проводить корректировку режимов существующего процесса восстановления рельсов шлифованием для снижения степени разупрочнения поверхностного слоя головки рельса, которое является неблагоприятным фактором с точки зрения долговечности рельсов.

#### Литература

1. *Периодичность* структурных изменений при ротационной пластической деформации // В.И. Владимиров, Б.К. Барахтин, С.А. Иванов, И.А. Овидько, А.Е. Романов // Физика металлов и металловедение. 1987. № 6. С. 1185–1191.
2. *Тушинский Л.И.* Классификация структур сплавов и физико-механических моделей пластической деформации // Структуры объемно и поверхностно упрочненной стали. Новосибирск, 1984. С. 3–13.