

# Технология

УДК 691.795.2

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ ТОРЦОМ КРУГА

*В.А. Аксенов, А.С. Ильиных*

## THERMOPHYSICAL ANALYSIS OF THE FLAT POLISHING OF RAILS BY THE END OF THE CIRCLE

*V.A. Aksenov, A.S. Ilinykh*

Анализируется теплофизический процесс шлифования рельсов с целью установления взаимосвязи параметров термических циклов с режимами обработки. На основе проведенных исследований рассмотрены перспективы повышения производительности процесса абразивной обработки рельсов.

*Ключевые слова: шлифование рельсов, температура, теплопроводность, обрабатываемая поверхность.*

The article deals with the thermo physical analysis of the process of rail polishing with the view to establish a correlation of thermic cycles characteristics with the modes of manufacturing. On the basis of the held research the prospects of increasing the productivity of the abrasive manufacturing of rails were analyzed.

*Keywords: polishing the rails, temperature, thermal conductivity, the manufactured surface.*

### **Введение**

В современных условиях подавляющее большинство отказов железнодорожного пути, происходит из-за накопления в процессе эксплуатации повреждений рельсов.

Одним из приоритетных направлений в области продления срока службы железнодорожного пути является шлифование рельсов, которое осуществляется по схеме плоского шлифования торцом круга.

Шлифование рельсов позволяет удалять поверхностные дефекты, и как следствие, снижаются вертикальные динамические силы, шум и вибрации, увеличивается срок службы рельсов, рельсовых креплений и шпал, происходит существенное удлинение цикла выправки пути в плане и профиле.

В целом для шлифования рельсов, учитывая большую протяженность Российских железных дорог и ограниченность времени производства работ в «окно», определяющим фактором эффективности технологического процесса является производительность механической обработки в условиях обеспечения требуемых физико-механических свойств обработанной поверхности и требуемого ремонтного профиля рельсов.

В настоящее время на железных дорогах мира широко используются рельсошлифовальные поезда и комплексы, скорость выполнения работ которыми колеблется от 3 до 8 км/ч, а характер выполнения работ сводится к продолжительности «окон», числу проходов и толщине снимаемого металла, в зависимости от вида работ и состояния рельсов. В связи с чем во всем мире до сих пор остается актуальным вопрос повышения производительности процесса шлифования.

На сегодняшний день на сети железных дорог России эксплуатируется 21 рельсошлифовальный поезд (РШП). Все поезда производят шлифование по технологии фирмы «Speno» со средней рабочей скоростью 6 км/ч. Опыт эксплуатации РШП дает основание отметить, что повышение

эффективности технологического процесса шлифования рельсов является постоянной задачей в области совершенствования организации работ по ремонту и текущему содержанию рельсового пути [1].

На основании вышеизложенного вопрос создания новой высокопроизводительной технологии шлифования рельсов в пути, которая бы позволила при активном способе шлифования достичь более высоких рабочих скоростей, а следовательно, и более высокой производительности, но с сохранением качественных показателей процесса, является первоочередной и актуальной задачей для путевого комплекса отрасли.

Из анализа технологии шлифования рельсов, применяемой в настоящее время, определены направления исследований для установления возможностей увеличения эффективности обработки:

- теплофизический анализ процесса шлифования рельсов с целью установления взаимосвязи параметров термических циклов с режимами обработки;
- разработка оптимального технологического процесса, позволяющего при увеличении рабочей скорости поезда снизить уровень теплового воздействия на обрабатываемую поверхность.

#### Основные положения

Для количественной оценки процесса шлифования осуществлен его теплофизический анализ. Это позволяет установить характер протекания тепловых процессов в зоне обработки, их влияние на качество поверхности и стойкость абразивного инструмента.

Формирование математических моделей и последующий анализ температурных полей, применительно к процессу абразивной обработки базировались на анализе реальной физической картины взаимодействия поверхности обрабатываемого рельса с источниками теплообразования и фактических данных о свойствах материалов, коэффициентах теплоотдачи и т. д.

Выбор и обоснование метода расчета температурных полей в материале проводился исходя из положения, что источник теплоты является внешним, а его распространение в твердом теле подчиняется уравнению Фурье:

$$c\rho \frac{dT}{d\tau} = \frac{d}{dx} \left( \lambda \frac{dT}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left( \lambda \frac{dT}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left( \lambda \frac{dT}{dz} \right) + c\rho \left( V_x \frac{dT}{dx} + V_y \frac{dT}{dy} + V_z \frac{dT}{dz} \right), \quad (1)$$

где  $T = T(x, y, z, \tau)$  – температура точки материала с координатами  $x, y, z$  в момент времени  $\tau$ , °С;  $V_x, V_y, V_z$  – проекции вектора скорости перемещения внешнего источника нагрева на координатные оси;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К;  $c\rho$  – объемная теплоемкость материала, МДж/м<sup>3</sup>·К.

С учетом того положения, что значения теплофизических характеристик чаще всего принимаются соответствующими средним значениям температур, уравнение (1) примет вид:

$$\frac{dT}{d\tau} = a \left( \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{d^2T}{dz^2} \right) + V_x \frac{dT}{dx} + V_y \frac{dT}{dy} + V_z \frac{dT}{dz}, \quad (2)$$

где  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$  – коэффициент температуропроводности материала, м<sup>2</sup>/с.

Уравнение (2) не имеет общего решения, частное же возможно получить численными или аналитическими методами в случае задания необходимых граничных условий. За основу взят метод конечных разностей, который позволяет проводить теплофизический анализ схем шлифования с учетом изменения теплофизических характеристик материала, без ограничений на значение скорости перемещения источника нагрева.

При формировании обобщенной расчетной схемы принимались во внимание следующие основные положения:

- теплообразование в зоне резания вызвано трением абразивных зерен по поверхности контакта шлифовального круга с металлом и пластическим деформированием металла при образовании стружки;
- температура обрабатываемой поверхности является результатом суммарного наложения тепловых импульсов отдельных абразивных зерен, интенсивность и число которых определяется характеристиками круга, материала и режимами резания;
- источником нагрева принимается абразивный круг и, так как рассматривается процесс плоского торцового шлифования, источник будет являться плоским;

- распределение теплового потока по площади источника принимается равномерным;
- перемещение шлифовального круга относительно обрабатываемой поверхности моделируется учетом перемещения источника нагрева;
- охлаждение обработанной поверхности происходит естественным образом (без принудительного охлаждения).

Для плоского случая в декартовых координатах  $X - Y$  расчетное уравнение (уравнение Фурье) будет иметь вид

$$\left( \frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{d^2 T}{dy^2} \right) a = \frac{dT}{d\tau}. \quad (3)$$

Начальные и граничные условия для рассматриваемой задачи записываются в следующем виде.

1. Перед началом обработки температура во всех точках материала одинакова и равна температуре окружающей среды:

$$T = T_{\text{окр}}. \quad (4)$$

2. После начала и в течение всего процесса шлифования на поверхность материала действует источник нагрева плоской формы с шириной  $R_n$  и удельной мощностью теплового потока  $Q$ .

3. Считаем, пренебрегая потерями на нагрев окружающей среды, что вся подводимая тепловая мощность расходуется на нагрев тела, т. е.

$$Q = -\lambda \frac{dT}{dy}. \quad (5)$$

4. Для поверхности материала, где действует источник (вне его), и противоположной ей принимаются граничные условия:

$$\alpha_1 T = \lambda \frac{dT}{dy}; \quad \alpha_2 T = \lambda \frac{dT}{dy}. \quad (6)$$

Для численного решения задачи использована расчетная сетка с шагом  $H$ , накладываемая на рассматриваемую область материала. Расчет температурного поля в материале производится последовательно для ряда моментов времени, различающихся на  $\Delta\tau$ . Обобщенная расчетная схема представлена на рис. 1.

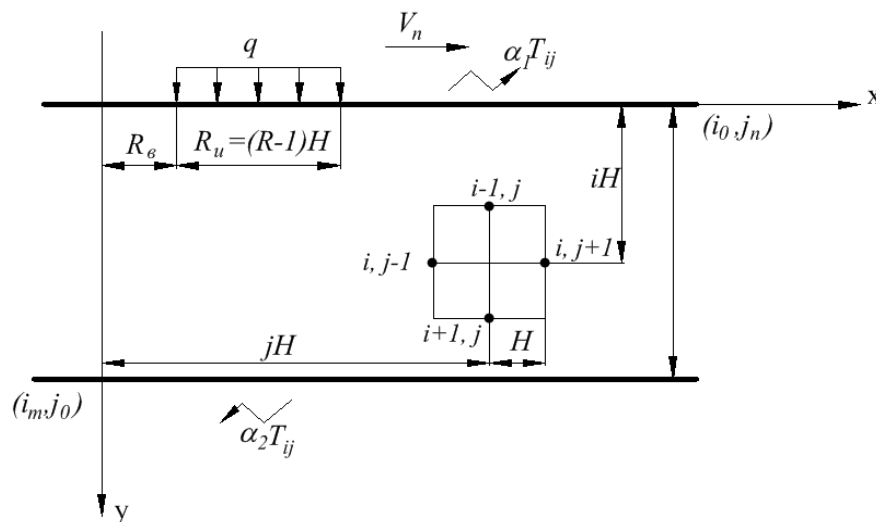


Рис. 1. Обобщенная схема для расчета температурного поля

Учет движения источника с заданной скоростью  $V_n$  осуществляется за счет введения безразмерного коэффициента движения  $k_d$ , характеризующего быстроту перемещения источника:

$$k_d = \frac{V_n \Delta\tau}{H}. \quad (7)$$

В любой момент времени смещение источника на плоской расчетной схеме представляет собой движение линейного источника размером  $R \times H$  на величину  $R_B$ :

$$R_B = V_n \tau = \frac{k_d H \tau}{\Delta t} \tag{8}$$

Конечно-разностные уравнения имеют явную форму и легко решаются методом итераций на ЭВМ. При выборе шага сетки  $H$  и расчета шага по времени  $\Delta t$  необходимо учитывать их взаимосвязь через критерий Фурье:

$$F_0 = \left( \frac{\lambda}{c\rho} \right) \frac{Dt}{H^2} \tag{9}$$

Уравнения имеют устойчивое решение при  $F_0 < 0,25$ .

Разработанный метод позволяет:

- получить развернутую численную картину термических циклов в явном виде, т. е. в координатах температура – время, а также температуру точек материала по всему объему материала в любой момент времени;
- варьировать размером и удельной мощностью источника по какому-либо закону в процессе расчета;
- учитывать зависимость теплофизических характеристик материала от температуры;
- осуществлять автоматизированный расчет численных значений параметров термических циклов.

Данный численный метод расчета температурных полей в материале рельса при шлифовании стал основой для разработки программной системы, в которой предусмотрена возможность визуализации с использованием сервисных программ картин тепловых полей в материале и графиков термических циклов. Задание исходных данных осуществляется через систему рабочих меню, реализованную с помощью оконного редактора.

На основе теплофизического анализа установлены взаимосвязи между режимами шлифования, характеристиками абразивного инструмента и характером протекания тепловых процессов. Приведены результаты технологических, структурных и физико-механических исследований эффективности применения разработанного технологического процесса плоского шлифования.

Рассматривая процесс шлифования рельсов с точки зрения теории абразивной обработки и используя результаты теплофизического анализа, установлено, что

- увеличение производительности абразивной обработки возможно за счет оптимизации режимов резания, в результате чего будет обеспечиваться такая максимальная температура нагрева поверхностного слоя, которая не будет способствовать структурным изменениям в материале;
- наиболее благоприятным направлением повышения эффективности профильного шлифования рельсов является увеличение рабочей скорости поезда, так как это приводит к снижению теплового воздействия на рельс при обработке и уменьшению остаточных напряжений в поверхностном слое. С увеличением съема металла наблюдается обратный эффект (рис. 2).

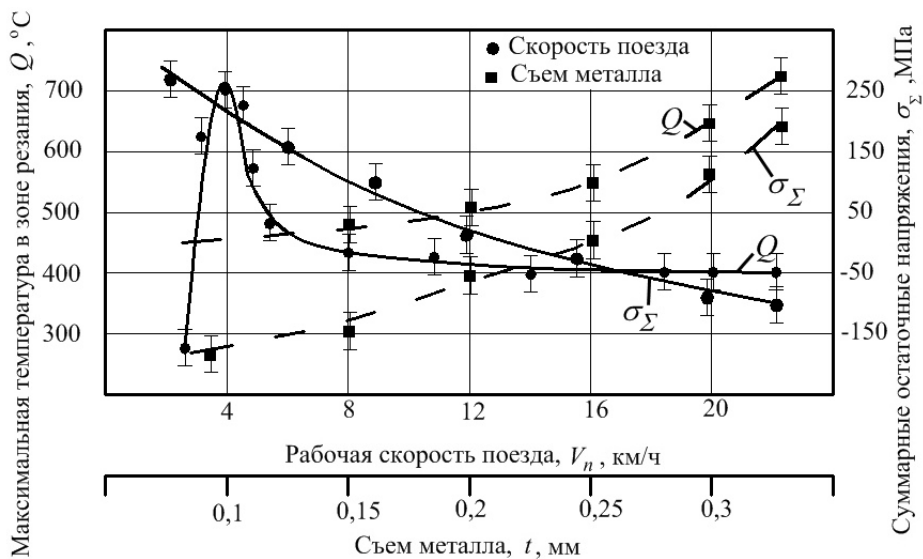


Рис. 2. Влияние режимов шлифования на температуру в зоне резания

### Заключение

На основании проведенных исследований был разработан новый высокоэффективный технологический процесс шлифования рельсов [2], при котором снижается уровень теплового воздействия на обрабатываемый материал, увеличивается объемная производительность рельсошлифовального поезда.

В настоящее время шлифование рельсов в пути осуществляется с рабочей скоростью поезда 6–8 км/ч, при этом скорость вращения шлифовального круга составляет 50 м/с (3600 об/мин).

Принципиальное отличие новой технологии шлифования от существующей состоит в увеличении скорости вращения шлифовального круга до 100 м/с с одновременным увеличением рабочей скорости поезда до 12–15 км/ч. При этом производительность выполнения работ по шлифованию рельсов возрастает в 2–2,5 раза, уменьшается шероховатость, полностью исключаются прижоги металла, микротвердость и структура поверхностного слоя соответствует микротвердости и структуре (сорбит закалки) нового термообработанного рельса. Это говорит о том, что свойства рельсового металла полностью восстанавливаются шлифованием рельсов в пути.

### Литература

1. Ильиных, А.С. Особенности современной ресурсосберегающей технологии шлифования рельсов в пути / А.С. Ильиных // *Материалы VII Всерос. науч.-техн. конф. «Политранспортные системы»*. – Новосибирск, 2010. – С. 249–253.
2. Аксенов, В.А. Повышение эффективности профильного шлифования рельсов в современных условиях эксплуатации железнодорожного пути на основе применения новой схемы резания / В.А. Аксенов, А.С. Ильиных // *Наука и техника транспорта*. – 2011. – № 4. – С. 86–91.

*Поступила в редакцию 19 июня 2012 г.*

**Аксенов Владимир Алексеевич.** Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта, Московский государственный университет путей сообщения (РОАТ МИИТ). Область научных интересов – технология транспортного машиностроения, ресурсосберегающие технологии на транспорте. Тел.: 8 (495) 799-95-59; e-mail: v.aksenov@rgotups.ru

**Vladimir A. Aksenov.** Doct. Sc. (Engineering), Professor of the Department of Technosphere Safety of the Russian Academy of Transportation Opened, Moscow State Transport University. Professional interests – transport engineering technology, energy saving technologies in transport. Tel.: 8 (495) 799-95-59; e-mail: v.aksenov@rgotups.ru

**Ильиных Андрей Степанович.** Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС). Область научных интересов – технология транспортного машиностроения, ресурсосберегающие технологии на транспорте. Тел.: 8 (383) 328-02-65; e-mail: asi80@ngs.ru

**Andrey S. Ilinykh.** Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Technology transport engineering and operation of machines, Siberian Transport University. Professional interests – transport engineering technology, energy saving technologies in transport. Tel.: 8 (383) 328-02-65; e-mail: asi80@ngs.ru