

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2026-54-70-74>

## МЕТОДЫ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

*Горюнов Н.А.<sup>1</sup>, Якубовский А.А.<sup>2</sup>, Голицын Д.Д.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия;*

<sup>2</sup>*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,  
Москва, Россия;*

<sup>3</sup>*Костромской государственный университет, Кострома, Россия*

**Ключевые слова:** ось, колесная пара, тяговый подвижной состав, локомотивы, поверхностное упрочнение, накатка роликами.

**Аннотация.** На железнодорожном транспорте основной задачей является обеспечение безопасности перевозок, осуществляемой различными способами. Одним из них является повышение надежности элементов бандажной части тягового подвижного состава, таких как ось. В работе приведены основные методы, применяемые при изготовлении и ремонте осей, проблематика и альтернативные методы.

## METHODS OF STRENGTHENING THE SURFACE LAYER OF WHEEL PAIRS OF LOCOMOTIVES

*Goryunov N.A.<sup>1</sup>, Yakubovsky A.A.<sup>2</sup>, Golitsyn D.D.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia;*

<sup>2</sup>*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia;*

<sup>3</sup>*Kostroma State University, Kostroma, Russia*

**Keywords:** axle, wheelset, traction rolling stock, locomotives, surface hardening, roller hardening.

**Abstract.** In railway transport, the main task is to ensure the safety of transportation, which is carried out in various ways. One of these ways is to increase the reliability of the bandage parts of the traction rolling stock, such as the axle. This paper presents the main methods used in the manufacture and repair of axles, as well as the problems and alternative methods.

Ось является важнейшим элементом колесной пары (КП), так как через неё осуществляется передача нагрузки от кузова на колеса, поэтому необходимо, чтобы она имела достаточную надежность и противостояла динамическому и статическому воздействию в процессе эксплуатации. В текущее время прослеживается тенденция активного увеличения объемов изготовления и ремонта осей КП железнодорожного транспорта. Так-как применяемые на предприятиях токарно-накатные станки КЖ1841 не поставляются, обновление и расширение станочного парка становится невозможным, вследствие чего возникает потребность в поиске и применении новых методов упрочнения, способных обеспечивать заданные требования, заложенные конструкторской документацией.

На сети железных дорог Российской Федерации упрочнению подвергаются центральная части оси, буксовые, подступичные,

предподступичные, моторно-осевые шейки, а также галтели при изготовлении и ремонте старогодних осей КП тягового подвижного состава. Применяемый при этом способ упрочнения, описанный в ТИ 32 ЦТ-ВНИИЖТ-95, носит характер пластической деформации поверхностного слоя давлением и представляет собой накатку парой роликов (упрочняющим и сглаживающим) при стабильном смазывании упрочняемых поверхностей машинным маслом. Применение данного метода на предприятиях, специализирующихся на ремонте и изготовлении осей КП закреплено «Инструкцией по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию колёсных пар локомотивов и моторвагонного подвижного состава железных дорог ОАО «РЖД», утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 14 апреля 2025 года №805/р (далее – Инструкция №805р). На основании ГОСТ 33200 при контроле изготовленных осей методом накатки замеряются такие параметры как глубина упрочненного слоя и его твёрдость.

Заготовки изготавливаются из Стали ОС в соответствии с ГОСТ 4728. Сталь ОС - углеродистая качественная сталь для изготовления осей КП железнодорожного подвижного состава. Химический состав материала в виде черновой заготовки после термообработки (нормализации) приведены в таблице 1 [1].

Табл. 1. Химический состав стали ОС, применяемой при изготовлении заготовок осей КП

| Массовая доля элементов, % по ГОСТ 4728 |                |                 |            |              |             |               |          |
|-----------------------------------------|----------------|-----------------|------------|--------------|-------------|---------------|----------|
| С,<br>углерод                           | Si,<br>кремний | Mn,<br>марганец | S,<br>сера | P,<br>фосфор | Cr,<br>хром | Ni,<br>никель | Cu, медь |
| Не более                                |                |                 |            |              |             |               |          |
| 0,42-0,50                               | 0,15-0,35      | 0,60-0,90       | 0,040      | 0,040        | 0,30        | 0,30          | 0,25     |

При замере по методу Бринелля (НВ) нормализованных заготовок локомотивных осей получены следующие значения твёрдости: 190-220 НВ. В соответствии с ГОСТ 33200 требуемая твердость поверхностного слоя после упрочнения роликами должна быть увеличена не менее чем на 20% твердости исходного материала, что составляет 228-264 НВ, с постепенным снижением до твердости исходной твердости неупрочненного металла. Согласно Инструкции №805р твердость упрочненного слоя накаткой роликами определяется по методу Виккерса (НВ) алмазной пирамидой при нагрузках 98,1, 196,2 или 294,3 Н (10, 20 или 30 кгс) по ГОСТ 2999, поэтому при нагрузке 30 кгс получаем значение 238-282 НВ.

Глубина упрочняемого слоя зависит от диаметра обрабатываемой шейки и определяется по ТИ 32 ЦТ-ВНИИЖТ-95. После упрочнения методом накатки глубина упрочненного слоя, которая составляет от 0,02 до 0,04 диаметра упрочняемой поверхности, что при максимальном диаметре оси Ø235 мм (подступичная шейка) составит от 4,7 до 9,4 мм, при минимальном диаметре (буксовая шейка) Ø160 мм – от 3,2 до 6,4 мм.

К пластической деформации стали ОС, помимо рассмотренного ранее метода накатки роликами, относятся дробеструйная и вибрационная ударная обработка, рассмотренная автором в работе [2]. Данный метод основан на вибрационной ударной обработке и заключается в хаотичном перемещении стальных шариков под действием колебаний установки, при котором они соударяются с поверхностью детали (оси), образуя сплошной наклёпанный слой, состоящий из множества локальных пятен контакта. При методе виброударного упрочнения стали марки ОС стальными шарами на частоте 43 Гц и при амплитуде 5-10-3 м колебаний вибрационного резервуара в течение 2 часов значение твердости поверхностного слоя глубиной до 0,15 мм составило 320 HV [2].

В качестве альтернативного метода упрочнения сталей, помимо пластического деформирования, может применяться термообработка поверхностного слоя.

Рассмотрим метод термической обработки токами высокой частоты (ТВЧ). Данный метод применяется для сталей с содержанием углерода 0,3-0,6%, что соответствует химическому составу стали ОС. В ходе процесса закалки в зоне нагрева перлит переходит в аустенит, который при быстром охлаждении образует мартенсит, создавая твердый поверхностный слой. Так как нагрев осуществляется за короткое время, основной металл не нагревается, сохраняя перлитно-ферритную структуру, образуя пластичную сердцевину. Получаемая структура представлена на рисунке 1 [3, 4].

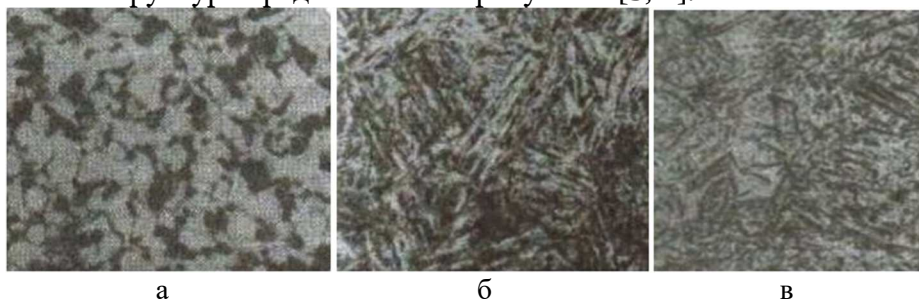


Рис. 1. Структура стали ОС после термообработки: а) перлит + феррит (нормализация); б) мартенсит (закалка); в) мартенсит отпуска (отпуск)

Ключевые параметры, влияющие на процесс термоупрочнения ТВЧ: частота тока, температура нагрева, время нагрева, скорость охлаждения. При установленной частоте тока 1 кГц глубина упрочняемого слоя составит от 5 до 8 мм, при частоте 2,5 кГц – от 3 до 5 мм. Температура при процессе закалки влияет на получаемую твердость и варьируется в диапазоне от 820 до 840°C, что в результате даёт твердость 540-590 HV. Для понижения твердости до 270-302 HV и снятия напряжений в закаленном слое после закалки выполняется высокий отпуск при температурах 550-600°C с охлаждением на воздухе [3, 4].

По результатам анализа методов сформирована сравнительная таблица (табл. 3). Метод вибрационной ударной обработки не обеспечивает требуемую глубину упрочненного поверхностного слоя, а также при его применении

появляется вероятность возникновения локальных дефектов из-за неравномерности процесса упрочнения.

Табл. 3. Сравнительная характеристика методов упрочнения локомотивных осей из стали ОС

| Параметр                  | Упрочняющая накатка роликами | Вибрационная пластическая обработка | Закалка ТВЧ | Закалка ТВЧ + высокий отпуск |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------|------------------------------|
| Глубина упрочненного слоя | 3,2-9,4 мм                   | до 0,15 мм                          | 3-8 мм      | 3-8 мм                       |
| Полученная твердость (HV) | 238-282                      | 310-320                             | 540-590     | 270-302                      |

Результаты проведенного исследования показывают, что применение закалки методом ТВЧ позволяет добиться значений глубины поверхностного слоя, приближенных к получаемым при методе упрочняющей накатки роликами. Оба метода позволяют регулировать режимы обработки, влияющие на глубину поверхностного слоя, что показывает их вариативность. Твердость поверхностного слоя, получаемая методом закалки ТВЧ, превышает исходные значения, поэтому оптимальным методом, позволяющим получить максимально приближенные значения, является метод, при котором помимо закалки ТВЧ производится высокий отпуск. Применение данного метода позволит осуществлять упрочнение осей КП подвижного состава на ремонтных и производственных площадках при возникновении дефицита механообрабатывающего оборудования.

### Список литературы

1. Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А., Гервасьев М.А., Гредитор М.А., Крылова К.М., Кубачек В.В., Мирмельштейн В.А. Марочник сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
2. Лубенская Л.М., Колодяжный П.В. Повышение эксплуатационных свойств осей колесных пар за счет упрочнения их поверхности // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2011. – №38. – С. 41-46.
3. Майсурадзе М.В., Рыжков М.А., Корниенко О.Ю., Степанов С.И. Индукционная и лазерная термическая обработка стальных изделий: учебное пособие. М-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал ун-та, 2022. – 92 с.
4. Степанова Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие. – Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2009. – 64 с.

### References

1. Sorokin V.G., Volosnikova A.V., Vyatkin S.A., Gervasyev M.A., Greditor M.A., Krylova K.M., Kubachek V.V., and Mirmelstein V.A. Steel and Alloy Marking Book. – M.: Mechanical Engineering, 1989. – 640 p.

2. Lubenskaya L.M., Kolodyazhny P.V. Improving the performance properties of wheelset axles by hardening their surfaces // Graduate of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. 2011, no. 38, pp. 41-46.
3. Maisuradze M.V., Ryzhkov M.A., Kornienko O.Yu., Stepanov S.I. Induction and laser heat treatment of steel products: a textbook. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. – Yekaterinburg: Ural University Publishing House, 2022. – 92 p.
4. Stepanova T.Yu. Technologies of Surface Hardening of Machine Parts: Textbook. – Ivanovo: Ivan. state chem.-technol. un-ty, 2009. – 64 p.

|                                                                |                                                            |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Горюнов Николай Алексеевич</b> – аспирант                   | <b>Goryunov Nikolai Alekseevich</b> – postgraduate student |
| <b>Якубовский Антон Алексеевич</b> – младший научный сотрудник | <b>Yakubovsky Anton Alekseevich</b> – junior researcher    |
| <b>Голицын Данил Дмитриевич</b> – аспирант                     | <b>Golitsyn Danil Dmitrievich</b> – postgraduate student   |
| nikolay2gor@yandex.ru                                          |                                                            |

*Received 18.06.2026*