

Объемно-поверхностная закалка при производстве железнодорожных подшипников для подвижного состава и автомобильного транспорта

В. М. Федин, В. Г. Воротников, С. В. Новиков, К. А. Чернышев

Рассмотрены вопросы производства подшипников для подвижного состава железнодорожного и автомобильного транспорта, в том числе зависимость производства подшипников от поставок по импорту материалов, технологий, станочного оборудования, что является государственной проблемой. Представленный анализ показывает, что возможно возобновление производства подшипников без привлечения импортных поставок или их минимизации за счет отечественной технологии.

Ключевые слова:

подшипник для подвижного состава, сталь регламентированной прокаливаемости, объемно-поверхностная закалка

УДК 621.78 | ВАК 2.5.5, 2.6.17

DOI: 10.22184/2499-9407.2025.40.3.32.38

Введение

Развитие подшипниковой отрасли Советского Союза опиралось на опыт производства подшипников из низкоуглеродистых цементуемых сталей типа 20Х2Н4А и высоколегированных сталей типа ШХ15СГ и стали с регламентированной прокаливаемостью ШХ4.

При производстве подшипников, способных выдерживать большие нагрузки, требуется строгое соблюдение технологического процесса, обеспечение высокой точности механической обработки и культуры производства. Каждый этап изготовления представляет собой сложный, длительный и трудоемкий процесс, где заготовка из металла превращается в надежное и долговечное комплектующее изделие для машиностроения. В связи с этим совершенствование технологии и повышение экономической эффективности производства подшипников является в настоящее время крайне актуальной проблемой.

Анализ проблемы и возможные решения

Основные этапы производства элементов подшипника:

- **изготовление заготовки** – выплавка стали на металлургических комбинатах с контролем химического состава (для крупногабаритных и сверхкрупногабаритных подшипников отливаются заготовки, которые в дальнейшем отковываются для исключения возможных внутренних дефектов), отделение «прибыли» и комля (удаление нежелательных примесей), прошивка откованной заготовки и насадка на вал, ковка кольца для устранения дефектов его структуры;
- **механическая обработка заготовки** – заготовки колец вытачиваются на токарных станках;
- **цементация** – кольца в течение нескольких суток нагревают до температуры 940 °С в газовой среде, насыщая поверхностный слой углеродом для прочности и твердости;

- **высокий отпуск** – термообработка при температуре 590–610 °С для получения требуемой микроструктуры и снятия внутренних напряжений;
- **закалка** – нагрев до температуры до 820 °С и охлаждение в масле для повышения поверхностной прочности и износостойкости;
- **низкий отпуск** – термообработка при температуре 150–180 °С для снижения хрупкости;
- **шлифование** – предварительная механическая обработка поверхностей;
- **межоперационный отпуск** – нагрев до температуры 100–120 °С для снятия внутренних напряжений;
- **финишное шлифование** – окончательная доводка до требуемых размеров;
- **сборка и контроль качества** перед отправкой заказчику.

Как указано выше, производство подшипников представляет собой длительный и трудоемкий цикл. Поэтому, для снижения длительности и трудоемкости широко применялась технология производства элементов подшипника из стали ШХ15СГ и внутренних колец из стали ШХ4 регламентированной прокаливаемости, упрочняемой объемно-поверхностной закалкой с использованием сквозного индукционного нагрева и закалки быстродвижущимся потоком воды (ОПЗ). Использование стали ШХ4 в комплексе с представленным технологическим процессом цементации обеспечивает получение градиента свойств по сечению, что в свою очередь создает высокий уровень сжимающих напряжений в поверхностном слое и благоприятно влияет на усталостную прочность и износостойкость [1]. Длительность процесса объемно-поверхностной закалки внутреннего кольца железнодорожного подшипника составляет около трех минут, что в десятки раз меньше традиционных технологий термообработки. Кроме того, использование быстродвижущегося потока воды в качестве охлаждающей среды позволяет улучшить экологические условия процесса термообработки.

Например, масштабные работы, проведенные по применению ОПЗ [2–7], позволили перейти к производству внутренних колец железнодорожных подшипников на пяти заводах СССР. В тот период времени данная технология не имела реальной альтернативы. Решениями Министерства путей сообщения (МПС) было предписано использование в грузовых и пассажирских вагонах только подшипников с внутренними кольцами из стали ШХ4 с ОПЗ. Проведенные работы позволили определиться с конфигурацией железнодорожного подшипника из сталей семейства ШХ4, представленного на рис. 1.

В перспективе несложно вернуться к ранее положительно зарекомендовавшей себя технологии ОПЗ для производства как железнодорожных подшипников, так и крупногабаритных подшипников автомобилей с диаметром колец от 2,0 м и более. Такая технология была апробирована



Рис. 1. Макроструктура поперечного сечения вагонного подшипника (кольцо и ролики) 30-42726Л5М с деталями, упрочненными ОПЗ (белый цвет – закаленный слой) [8]

профессором Б.К. Ушаковым на подшипнике с кольцом диаметром 2,0 м. Реализовать собственное производство подшипников с применением сталей марок типа ПП и РП, упрочняемых ОПЗ, легче, чем применять дорогостоящие высоколегированные стали с длительным процессом цементации, составляющим десять и более часов, что накладывает свой отпечаток на себестоимость продукции.

Стоимость агрегатов для цементации, а это, как правило, импортное оборудование, в свою очередь влечет за собой значимые финансовые вложения. Для сопоставления на рис. 2 приведен внешний вид технологической линии по объемно-поверхностной закалке внутренних колец, спроектированной и изготовленной на московском подшипниковом заводе (ГПЗ-1). Аналогичное оборудование, также собственного производства, было установлено на вологодском и саратовском подшипниковых заводах. Комплектация источников питания индукционного оборудования на новых линиях возможно с применением мощных тиристорных.



Рис. 2. Общий вид индукционной установки для объемно-поверхностной закалки колец подшипников на АО «Московский подшипник» (ГПЗ-1) [8]

Такое оборудование выпускает партнер Российского университета транспорта (МИИТ).

При организации производства по выпуску комплектующих для железнодорожных подшипников остаются известные проблемы и задачи [8–10]:

1. потребность в специальных сталях (химический состав, технология выплавки, методы отработки, методы обеспечения чистоты и поддержания стабильности качества);
2. разработка технологии производства неметаллических элементов (сепараторы, уплотнения);
3. разработка технологии производства роликов, в том числе полых (для обеспечения равномерной нагрузки наружного и внутреннего колец);
4. разработка технологии производства смазки с заданными температурными свойствами и долговечностью;
5. разработка технологии механической обработки и станков.

Возобновление применения технологии ОПЗ для серийного производства качественных подшипников типовых и новых вагонов не представляет технической сложности. Для этого нужен куратор работ с пониманием государственной проблемы с производством подшипников, имеющей стратегическое значение. В рамках решения этой проблемы одновременно решаются вопросы замены закалочных сред (масла и водных растворов полимеров) на техническую воду (экология), создания двух типов сталей со сквозной и регулируемой прокаливаемостью, апробации скоростного закалочного охлаждения с обеспечением минимальной деформации и более высокого уровня механических свойств на серийных сталях типа ШХ9, ШХ15 и ШХ15СГ. И это уже не гипотеза, а реально достижимый результат.

Действует порядка 500 патентов РФ на близкую тематику (код МПК В61F). Патентовладельцами являются ОАО «РЖД», НПК «Уралвагонзавод», Уральское конструкторское бюро вагоностроения, НВЦ «Вагоны», ОАО «Алтайвагон», ОАО «Рухимаш», ЕПК Саратов, ПГУПС, ООО «Экспресс Индустрия», ООО «СпецТрансСервис», ООО «ВКМ-Сталь», ООО «ВНИЦТТ» и др. [12]. Есть предположение, что количество перейдет в качество и проблема с подшипниками будет решена.

В работе [11] отмечается, что структура парка полувагонов на сети ОАО «РЖД» по состоянию на начало 2022 года составляла:

- 73,5% типовых вагонов с тележкой модели 18–100 с буксой и двумя цилиндрическими роликовыми подшипниками;
- 26,5% так называемых инновационных вагонов, оборудованных кассетными подшипниками.

Приведенное соотношение показывает, что основной объем перевозок в стране осуществляется типовыми вагонами. Однако специалисты ОАО «РЖД», ВНИИЖТ и ряда организаций утверждают, что необходимо избавляться от морально устаревших, ненадежных подшипников 1-го типа

и массово осуществлять переход на кассетные подшипники для инновационных грузовых вагонов с повышенной нагрузкой на ось. Хотя, как известно, именно с кассетными подшипниками и возникла общегосударственная проблема в отрасли.

Ранее в Советском Союзе на морально устаревших и ненадежных подшипниках 1-го типа внутренние кольца из стали ШХ4 с соответствующим упрочнением поставлялись пятью подшипниковыми заводами, и не было современных проблем с их ремонтом и эксплуатацией. Вопрос себестоимости подшипника не обсуждался из-за отсутствия достойного конкурента при рассмотрении вопроса в категориях «цена – качество».

Массовое производство внутренних колец подшипников было организовано на харьковском подшипниковом заводе, позднее преобразованном в АО «ХАРП». Это предприятие не переориентировалось на западное производство подшипников из дорогостоящих цементуемых сталей. АО «ХАРП» продолжило развитие направления по применению сталей регламентированной прокаливаемости. На рис. 3 приведен внешний вид двухрядного буксового подшипника CRU-Duplex, целиком изготовленного из сталей типа РП, производства АО «ХАРП», представленного на выставке Inno-Trans в Берлине в 2015 году. Гарантированный пробег составляет 800,0 тыс. км, как у кассетного подшипника. При этом цена – в три раза ниже.

При этом выяснилось, что пробег корпуса буксы из стали 20ГЛ после серийной термообработки (улучшение) составляет 200,0 тыс. км. После встречи представителя ХАРП со специалистами Российского университета транспорта (МИИТ) вопрос был снят, так как уже к этому времени были проведены полигонные испытания корпуса буксы из стали 20ГЛ, упрочненные ОПЗ, и испытаны в опытном составе поезда «РЖД-УВЗ-УргУПС-Вагонтранс» в течение трех лет на Южно-Уральской железной дороге. Схема замера приведена на рис. 4. Результаты испытаний показали, что суммарный износ опорных поверхностей буксы и боковой рамы

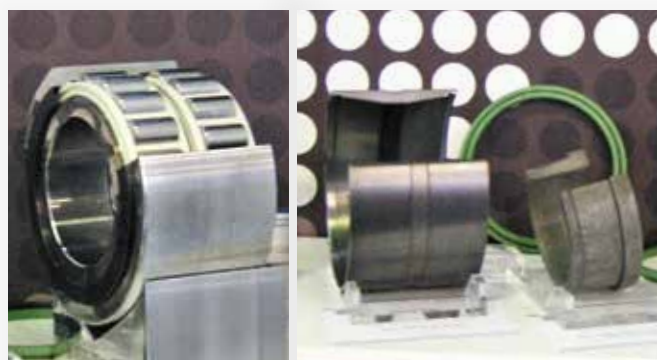


Рис. 3. Подшипник производства АО «ХАРП», изготовленный из сталей регламентированной прокаливаемости

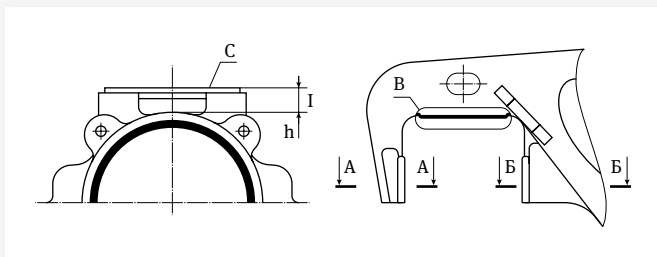


Рис. 4. Схема измерения износа рабочих поверхностей буксы и поверхностей буксового проема в опытном маршруте

составляет 0,4–1,6 мм; боковых поверхностей корпуса и рамы – 0–0,1 мм. Твердая поверхность буксы (HRC 50) и мягкая поверхность боковой рамы (HRC 17) устраняют развитие процесса схватывания. Этот процесс хорошо известен в трибологии. Такой результат является основанием для назначения одинакового срока службы подшипника и буксы. Намеченные испытания корпуса буксы с упрочнением ОПЗ с подшипником HARP с участием крупного перевозчика на 2014 год не были завершены из-за наметившихся сложностей.

Следует отметить, что в подшипнике из стали регламентированной прокаливаемости ШХ4 есть особенность, которая заключается в том, что металлурги должны поставлять сталь с определенным химическим составом. Гарантированно это делал Оскольский электрометаллургический комбинат (ОЭМК), так как применяет технологию прямого восстановления с применением окатышей собственного производства. Да и другие металлургические предприятия, такие как Златоустовский металлургический завод, Ижсталь, Челябинский металлургический завод, Кузнецкий металлургический завод и другие выплавляли дешевый качественный металл. Для этого нужно соблюдать техпроцесс плавки и после применения ковша с заливкой стали типа броневой проводить промывку ковша. В противном случае в сталь ШХ4 попадут примесные легирующие элементы типа вольфрама, ванадия и другие неконтролируемые примеси, что приведет к сквозной прокаливаемости. Это связано с тем, что глубина закаленного слоя при закалке быстро движущимся потоком воды, определяется химическим составом стали, а не глубиной высокочастотного индукционного поверхностного нагрева детали.

Должное внимание должно уделяться и качеству металлолома, используемого в современном производстве стали. Это государственная задача, которая, например, в Японии решается за счет обязательного возврата транспортного металла на металлургический завод. Такая же процедура выполнялась и в Советском Союзе.

Производство поковок для элементов подшипников возможно рассматривать на ПАО «Челябинский кузнечно-прессовый завод» (ЧКПЗ), в том числе и по серийному

производству заготовок для колец железнодорожных подшипников. Производство цельных и полых роликов также целесообразно производить на этом предприятии. ЧКПЗ присвоен номер для клеймения ответственных узлов и деталей, подлежащих обязательному учету по требованиям безопасности на федеральном железнодорожном транспорте [12].

Изменение стоимостных показателей связано с тем, что производство подшипников осуществляется на дорогостоящем оборудовании, с применением цементируемых легированных сталей типа 18ХГТ, 20Х2Н4А и стали типа 50 с применением индукционного нагрева с повышенной частотой, обеспечивающей градиент твердости по сечению. Возобновление производства подшипников с применением стали ШХ4 на московском и вологодском заводах закончилось по причине ликвидации первого и переориентации второго.

При применении дорогой высоколегированной стали с длительным процессом цементации на импортном оборудовании легче рассчитывать добавленную стоимость, что является выгодным для поставщика продукции. Отсутствие в структуре ОАО «РЖД» службы главного металлурга, упразднение в институте качественных сталей ЦНИИчермет отдела цен, более чем тридцатилетнее отсутствие кафедры «Технология металлов» в Российском университете транспорта (МИИТ), готовившем инженеров для железнодорожной отрасли, привело к тому, что металлурги единолично формируют уровень цен на металлопрокат. Так, стали пониженной и регламентированной прокаливаемости типа 55ПП и 55РП для винтовых пружин подвижного состава с содержанием легирующих элементов в 5–7 раз ниже, чем у серийной высоколегированной стали типа 60С2ХФА, сравнивались с ней в цене.

Большой опыт промышленного внедрения работы по ОПЗ сталей типа ПП и РП для железнодорожных и крупногабаритных машиностроительных подшипников не требует проведения отдельных масштабных исследований и проработок. Наибольшая перспектива к внедрению данной технологии просматривается, в первую очередь, на ГПЗ-9 (г. Самара), где еще остались производственные мощности, точнее площади по производству вагонных подшипников и особо крупногабаритных подшипников для других отраслей промышленности.

Приводить экономические показатели по реализации ОПЗ и цементации высоколегированных сталей не имеет смысла, так как это не предмет для конкуренции. Подробные данные по этому вопросу можно получить при рассмотрении работы [8].

Хотя были разные времена, и если подавляющее большинство иностранных фирм завозят в Россию самые дорогие технологии, да еще и без локализации производства, то иностранные компании для себя рассматривали нашу технологию. Так, например, по приглашению фирм General

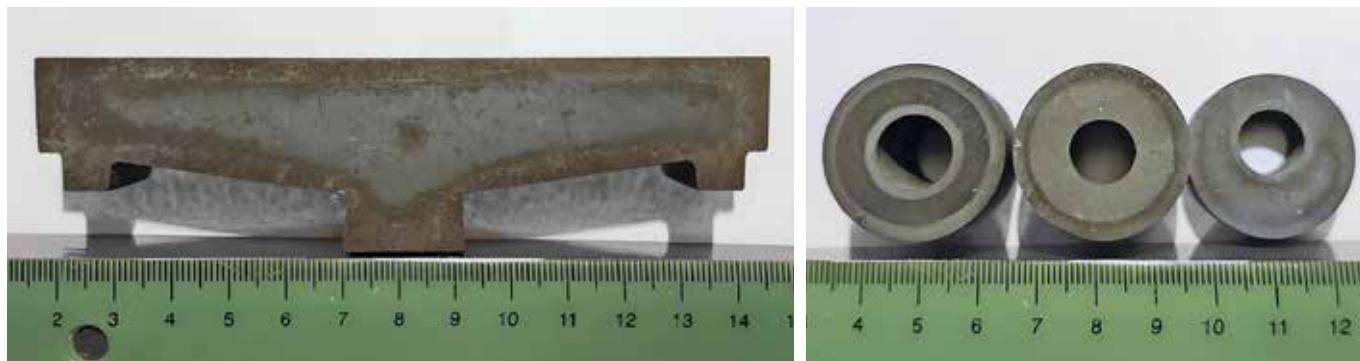


Рис. 5. Подшипники – наружные и внутренние кольца и ролики, в том числе и полые (обеспечивают равномерное распределение нагрузки между наружным и внутренним кольцами двухрядных подшипников); основа – сталь ШХ4 (из архива профессора Б. К. Ушакова)

Bearing Corporation и Torrington (США) профессор Б. К. Ушаков выступил с докладом на 5-м Международном симпозиуме по подшипниковым сталям, состоявшемся в ноябре 1996 года в г. Новый Орлеан (США) и проходившем под девизом «Подшипниковая сталь в XXI веке».

При решении проблемы, ставшей государственной, по обеспечению качества железнодорожных подшипников, необходимо учесть современный уровень развития техники при производстве стали, индукционного нагревательного и закалочного оборудования, станочного оборудования для механической обработки, а также конструктивно-го изменения подшипника.

В процессе выполнения работы предлагается детально и подробно рассмотреть техническое решение принципиально новой конструкции подшипникового узла, где в установленных габаритах применяющихся типовых букс подвижного состава достигается возможность перераспределять, соответственно, осевые силы на упорные подшипники и радиальные силы на типовые радиальные подшипники с короткими цилиндрическими роликами [13]. Вопросы применения цельного или полого роликов решаются при реализации расчетных схем нагружения и лабораторных исследованиях натурных изделий. Конструкторская проработка с полыми роликами проведена. Требуется технологическая проработка по геометрическим параметрам, выбору материалов, термообработке и механической обработке. В результате исключается возможность повреждения в эксплуатации элементов подшипников, которые имеют место в конструкциях буксовых узлов кассетного типа и типовых буксовых узлах [10], применяющихся на подвижном составе железнодорожного транспорта России и стран СНГ, с учетом дефектов, приведенных в Классификаторе дефектов [14].

Отдельно следует отметить, что перспективно применение корпусов букс из алюминиевого сплава АМг6. Результаты многолетних комплексных исследований и испытаний, проведенных МПС, ВНИИЖТ, Уралвагонзаводом

и рядом организаций подтвердили высокую техническую эффективность таких корпусов букс. В результате снижается вес вагона и снимаются проблемы с коррозионной стойкостью. Благодаря высоким демпфирующим свойствам алюминия повышается долговечность работы подшипников за счет более равномерной нагрузки на ролики, а также достигается уменьшение уровня динамических сил взаимодействия вагона и пути, что особенно важно для снижения износа колес и рельсов, а также в связи с увеличением нагрузки на ось [15].

Пример применения вариантов и исследования сталей пониженной прокаливаемости для элементов подшипника представлен на рис. 5.

В современной технологии применяется доэвтектоидная сталь нового состава (устраняется длительный отжиг на зернистый перлит). Индукционный нагрев осуществляется с помощью источников питания для термообработки с применением сквозного индукционного нагрева. Аналог – апробированные технологические линии для подшипниковых заводов в Москве, Вологде и Саратове. Также в свое время были определены перспективы производства вагонных подшипников на ГПЗ-9 (г. Самара) и ГПЗ-1 (Москва), но в настоящее время производство утрачено.

Патентно-лицензионная ценность разработок подтверждена 5 авторскими свидетельствами и патентами РФ и 9 патентами на «Подшипник качения и способ его изготовления» в развитых зарубежных странах, включая США, Германию, Японию и др.

Технико-экономическое обоснование

Основные этапы развития технологии ОПЗ сталей пониженной и регламентированной прокаливаемости для железнодорожного, автомобильного и других отраслей промышленности обоснована профессором К.З. Шепеляковским и его учениками [2–9].

Технологии интенсивного закалочного охлаждения стандартных сталей со сквозной прокаливаемостью показала,

что при получении высокопрочного состояния не повышается хрупкость. Технология закалочного охлаждения рассматриваемых сталей по ГОСТ 801 и ряду ТУ не предусматривает в качестве закалочной среды масла и водных растворов полимеров, что одновременно решает вопросы экологии. Технология отработана на опытно-промышленном участке и нашла промышленное применение при массовом производстве винтовых пружин ПС и упругих клемм верхнего строения пути. Корпус буксы из стали типа 20ГЛ с объемно-поверхностной закалкой обеспечивает гарантированный пробег 800,0 тыс. км (испытания в опытном маршруте УВЗ).

Созданное в короткое время (в период, начиная с 1994 г.) производство элементов подшипников из стали ШХ4 для тележки модели 18–100 с упрочнением ОПЗ для России и стран СНГ по решению МПС предписывалось для применения в грузовых и пассажирских вагонах подшипников с внутренними кольцами из стали ШХ4. Выпуск осуществлялся на российских подшипниковых заводах (АО «Московский подшипник» и ОАО «Саратовский подшипниковый завод»). Позднее аналогичное производство было организовано на вологодском подшипниковом заводе.

Отечественное производство подшипников гарантировало устойчивое обеспечение железнодорожного транспорта России собственными подшипниками и не зависело от политической ситуации на Украине и в Казахстане (где расположены заводы, специализировавшиеся на производстве таких подшипников), что позволило отказаться от импорта и, в определенной степени, способствовало экономической и стратегической безопасности страны. Начиная с 1995 года на АО «Московский подшипник» (ГПЗ-1) было выпущено 188,4 тыс. вагонных подшипников с кольцами, упрочненными ОПЗ, объем реализации в денежном выражении составил 61,8 млрд руб. С начала 1996 года в ОАО «Саратовский подшипниковый завод» (ГПЗ-3) произведено и реализовано 27,6 тыс. вагонных подшипников на сумму 3,0 млрд руб.

Организация этих производств позволила поддержать заводы, сохранить рабочие места, обеспечить работой инженерные службы в связи с необходимостью создания нового оборудования и технологических процессов. На ГПЗ-1 были изготовлены и находились в эксплуатации три установки типа ЛЗК-95, что позволило отказаться от использования минерального закалочного масла и природного газа для приготовления защитных атмосфер, улучшить условия труда работающих в термическом цехе; не потребовало расходов на дополнительные природоохранные мероприятия в связи с экологической безопасностью процессов объемно-поверхностной закалки.

В этот же период времени было получено от фирмы General Bearing Corporation (США) предложение с просьбой об изготовлении индукционной установки для объемно-поверхностной закалки колец подшипников для железнодорожного транспорта США.

Исследования, приведенные в работе [16], по оценке буксовых узлов с кассетными подшипниками и буксовых узлов на самой массовой тележке вагона модели 18–100 с роликовыми цилиндрическими двухрядными подшипниками, по ряду технических параметров показали преимущество кассетных подшипников на 6–14%. При этом следует отметить, что во всех проведенных замерах, данные показатели не превышали нормативных значений, регламентированных ГОСТ 34795 и ГОСТ 33211. Сравнение динамических качеств порожних вагонов в кривых участках пути со скоростью движения 30–90 км/ч не показали различия в показателях двух типов подшипников. При прохождении кривой радиусом 300 м в диапазоне скоростей 30–70 км/ч показатели вагонов с кассетными подшипниками ниже, чем у вагона с тележками модели 18–100. Расчетные данные, приведенные в работе [13], также не отражают значимых преимуществ. Проблема с повышенной температурой кассетных подшипников при эксплуатации хорошо известна и не решена.

Для выбора технического решения применения той или иной технологии производства подшипников должен быть применен комплексный подход, включающий как технические, так и экономические показатели, что позволит решить государственную проблему с железнодорожными подшипниками.

Заключение

При условии назначения ответственного исполнителя с соответствующими полномочиями (например, Минпромторг России, Минтранс России или профильная структура ОАО «РЖД») для решения государственной проблемы с железнодорожными подшипниками, Российский университет транспорта (МИИТ) предлагает провести нижеперечисленные работы.

Снижение себестоимости подшипника без снижения эксплуатационных характеристик за счет:

- применения интенсивного закалочного охлаждения быстро движущимся потоком воды;
- модернизация марок подшипниковых сталей;
- разработки источников питания для индукционного нагревательного оборудования.

При необходимости отработки технологии интенсивного закалочного охлаждения быстро движущимся потоком воды элементов подшипника и корпусов букс работа производится на опытно-промышленном оборудовании МИИТ-Метровагонмаш с последующим переносом результатов работы на промышленный участок подшипникового завода.

Основные этапы:

1. оптимизация технологии термообработки элементов подшипника из сталей типа ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ4 по ГОСТ 801; сталей типа С56Е2, стали 70Mn4 по ISO 683-17-2014 и модернизированной доэвтектоидной углеродистой стали с учетом закалочного охлаждения быстро движущимся потоком воды;

2. обоснование применения стали с содержанием углерода 0,55–0,75% для производства элементов подшипника с учетом применения интенсивного закалочного охлаждения (разрабатываются две стали – сквозной и пониженной прокаливаемости);
3. рассмотрение вопроса изготовления источников питания индукционного нагревательного оборудования (согласование параметров мощности и частоты проводится в процессе подготовки к работе);
4. производство крупногабаритных подшипников с диаметром колец до 8,0 м: термообработка быстродвижущимся потоком воды с печного газового нагрева.

Создание новой конструкции подшипникового узла подвижного состава железнодорожного транспорта, которая минимизирует отрицательное влияние боковой нагрузки и способствует решению вопроса равномерной нагрузки наружного и внутреннего подшипника.

В данной работе не рассматриваются вопросы производства подшипников для станкостроительной промышленности, но представленные при этом результаты по замене марок сталей на менее легированные, скоростное и применение сверхскоростного охлаждения быстродвижущимся потоком воды, позволяющее получить более высокий уровень механических характеристик без потери пластичности, и бездеформационная закалка также могут быть предметом дальнейшего рассмотрения, как и материалы по обеспечению экологической безопасности за счет замены закалочных сред (масла и водных растворов полимеров). Это уже апробированные решения, которые могут быть перенесены в станкостроительную отрасль.

Литература

1. **Кудрявцев И. В.** Внутренние напряжения как резерв прочности в машиностроении. М.: Машгиз, 1951. 273 с.
2. **Шепеляковский К. З.** Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве. М.: Машиностроение, 1972. 288 с.
3. **Шепеляковский К. З., Девяткин В. П., Ушаков Б. К.** Индукционная поверхностная закалка подшипников качения. М:ТОМ. 1974. № 1. С. 17–21.
4. **Шепеляковский К. З., Девяткин В. П., Бернштейн Б. О.** Прочностные характеристики высокоуглеродистой стали регламентированной прокаливаемости после объемно-поверхностной закалки. М:ТОМ. 1975. № 5. С. 40–44.
5. **Ушаков Б. К.** Теоретические и технологические основы создания новых сталей и способов закалки деталей подшипников качения при индукционном нагреве и охлаждении быстродвижущейся водой. Диссерт. на соиск. уч. степ. д. т. н. М., ВНИИЖТ, 1989.
6. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштада. М.: Машиностроение, 1980. 783 с.
7. **Бескровный Г. Г.** Повышение долговечности подшипников для железнодорожного подвижного состава путем применения полых роликов, упрочненных объемно-поверхностной закалкой. М, ВНИИЖТ, 1998. 156 с.
8. **Ушаков Б. К., Федин В. М., Беккер В. А. и др.** Новые технологии и оборудование для объемно-поверхностной закалки изделий железнодорожного транспорта на предприятиях Российской Федерации. Заявочные материалы на соискание премии Правительства РФ в области науки и техники 1997 г.
9. **Федин В. М.** Объемно-поверхностная закалка деталей подвижного состава и верхнего строения пути. М.: Интекст, 2002. 208 с.
10. Термическая обработка как резерв технической и экономической стабильности работы железнодорожного транспорта: Монография / Под ред. Федина В. М., Вакуленко С. П. М.: РУТ (МИИТ), 2023. 159 с.
11. **Семенов Е. Ю., Андреев В. Е., Савчук В. Б.** Ситуация на рынке кассетных подшипников: проблемы и перспективы. Техника железных дорог. 2022. № 2 (58). С. 4–6.
12. Что стало с отечественными железнодорожными подшипниками. Журнал «Онлайн Патент» 25.05.2022.
13. **Воротников В. Г., Калетин С. В., Козлов М. В.** Расчет подшипниковых узлов транспортных средств. М.: МИИТ, 2010. 45 с.
14. Классификатор дефектов и повреждений подшипников качения ЦВТ – 22. Утвержден Вице-президентом ОАО «РЖД» В. А. Гапановичем 07.12.2007 г.
15. **Лапа А. В., Гершман И. С., Новиков С. В.** Корпус буксы грузового вагона из алюминиевого сплава: опыт разработки, производства и эксплуатационных испытаний (1958–1993 гг.) и современные перспективы // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 1. С. 82–90.
16. **Гаврюшин М. А., Коссов В. С., Лунин А. А., Спиров А. В.** О влиянии буксовых узлов на динамические качества и воздействие на путь // Железнодорожный транспорт. 2025. № 3. С. 34–41.

Авторы

- Федин Владимир Михайлович** – доктор технических, профессор, начальник научного центра, Российский университет транспорта (МИИТ), Москва
- Воротников Валерий Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент, кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство», Российский университет транспорта (МИИТ), Москва
- Новиков Сергей Васильевич** – кандидат технических наук, главный редактор, журнал «СТАНКОИНСТРУМЕНТ», Москва
- Чернышев Константин Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Железнодорожные станции и узлы», Российский университет транспорта (МИИТ), Москва



ТЕРМООБРАБОТКА

18-я международная специализированная выставка

Единственная в России выставка
термического оборудования и технологий

16 - 18 сентября 2025

Россия, Москва, ВДНХ, павильон 57



Основные разделы:

- Оборудование для термической и химико-термической обработки
- Промышленные печи и сушильные шкафы
- Жаропрочная оснастка
- Индукционное оборудование
- Огнеупорные и теплоизоляционные материалы
- Изделия из графита, углеродного волокна и углерод-углеродных композитов
- Лабораторное и контрольно-измерительное оборудование
- Вакуумная техника
- Автоматизация производства

Организатор:



Телефоны:

8 800 333-78-25,

8 (495) 137-78-25

E-mail:

info@htexporus.ru



Независимый
выставочный
аудит



В рамках выставки «Термообработка 2025» пройдёт
18-я международная научно-практическая конференция
«Инновационные технологии термообработки»



Информационная поддержка:

Официальный
сайт выставки:
www.htexporus.ru



Telegram-канал
«Термообработка»
@termoobrabotka



YouTube **termoobrabotka**



@htexpo_ru