

## НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.1

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-4-3>

# Улучшение показателей качества шпинтонов путем изменения технологических решений при их изготовлении



Татьяна ПОПОВА



Владимир ФЕДИН



Александр ПОПОВ

Татьяна Александровна Попова<sup>1</sup>, Владимир Михайлович Федин<sup>2</sup>, Александр Петрович Попов<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия,

<sup>1</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6620-2292>; Scopus Author ID: 57215115792; РИНЦ SPIN-код: 8517-7756; РИНЦ AuthorID: 706166.

<sup>3</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4618-4154>; Scopus Author ID: 57215127911; РИНЦ SPIN-код: 5652-9525; РИНЦ AuthorID: 705561.

✉ <sup>1</sup> [tatiana241187@gmail.com](mailto:tatiana241187@gmail.com).

✉ <sup>2</sup> [vmfedin@yandex.ru](mailto:vmfedin@yandex.ru)

✉ <sup>3</sup> [pap60@bk.ru](mailto:pap60@bk.ru).

## АННОТАЦИЯ

Обеспечение надежности подвески вагонов метрополитена напрямую определяется деталями, входящими в комплекс системы надбуксового подвешивания.

В данной работе рассматривается шпинтонная подвеска. Шпинтон представляет собой круглый стальной стержень, который крепится через втулку к балке тележки своей верхней частью, в то время как его нижний конец вставляется в проушину буксы. Центральная секция шпинтона служит своеобразной направляющей для пружин подвешивания.

Принцип работы основывается на способности шпинтонов распределять нагрузки, возникающие в процессе движения поезда метрополитена. Эта технология позволяет значительно уменьшить износ рельсов и колесных пар, увеличивая тем самым безопасность и снижая расходы на техническое обслуживание подвижного состава.

**Ключевые слова:** метрополитен, шпинтон, надбуксовое подвешивание, упрочнение деталей, термообработка, закалка стали, сталь 40Х, сталь 35.

На сегодняшний день существует ряд проблем, вызванных отказами шпинтонов, срок службы которых не согласуется по временным параметрам с отказами рам вагонных тележек. Помимо прочего, большое количество изделий отбраковывается на этапе производственных испытаний, что вызвано наличием внутренних дефектов. Так как вопросы надежности стоят наиболее остро, крайне актуально найти способы повышения долговечности шпинтонного узла. Данное исследование направлено на поиск оптимальных технологических решений для изготовления деталей. Проведен анализ материала и возможных методик обработки шпинтонов.

В результате сделан вывод о перспективности закалочного охлаждения быстро движущимся потоком воды, так как в ходе проведенных исследований доказано достижение всех требуемых параметров.

**Для цитирования:** Попова Т. А., Федин В. М., Попов А. П. Улучшение показателей качества шпинтонов путем изменения технологических решений при их изготовлении // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 4 (113). С. 22–26. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-4-3>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.  
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

В конструкции российских вагонов метророполитена широко использовались поводковая система подвешивания и шпинтонная, из которых более оптимальной, с точки зрения обеспечения надежности, является шпинтонная система подвешивания. Данный узел используется для обеспечения стабильности и комфорта в вагонах. Непосредственно шпинтон является центральным элементом гасителя колебаний, который в свою очередь представляет собой механизм, предназначенный для снижения амплитуды вертикальных перемещений кузова, возникающих в процессе движения вагонов, и работающий в тандеме с пружинами рессорного подвешивания. Суть работы шпинтона заключается в создании диссипативных (рассеивающих) сил, которые активируются при взаимодействии с пружинами для эффективного гашения колебаний. Схема шпинтона представлена на рис. 1.

В процессе эксплуатации шпинтон подвергается воздействию большого спектра нагрузок – как динамических, так и статических. Это обстоятельство подчеркивает важность задачи определения его надежности и долговечности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Анализ материала детали шпинтон

На начальных этапах применения тележек шпинтонного типа выявилась проблема возникновения усталостных трещин в зоне пересечения кольцевых швов сварки втулок внутренних шпинтонов с продольными швами продольных балок. Это приводило к негативным последствиям. Благодаря ряду конструктивно-технологических мероприятий, таким как приварка специальной накладки на верхней полке в зоне сварки втулки и двусторонняя разделка кромок под кольцевой шов, удалось лишь частично решить данную проблему.

Новые методы обработки и исследования материалов позволяют разработать эффективные технические и технологические решения для предотвращения дальнейших повреждений и обеспечения безопасной эксплуатации тележек.

Большинство шпинтонов на сегодняшний день изготавливается согласно требованиям конструкторской документации из стали

марки 40Х. Этот материал, отвечающий ГОСТ 4543, обогащен хромом в диапазоне 0,78...1,15 %, что обеспечивает изделию высокую надежность по эксплуатационным характеристикам [1]. Данный вид конструкционной стали относится к категории лучших благодаря своей устойчивости к повреждению и долговечности, хотя и сопряжен с высокой стоимостью. Несмотря на это, значительное число шпинтонов подлежит отбраковке из-за наличия неметаллических включений. Они представляют собой дефекты исходного металла, которые могут проявить себя как на поверхности, так и в подповерхностном слое изделия [2]. Такие дефекты определяются с использованием магнитного метода неразрушающего контроля. Следует отметить, что даже высококачественные стали могут содержать неметаллические включения, что не исключает их использование в производстве, но требует внимательного контроля.

Для повышения экономической эффективности предлагаются альтернативные решения, включающие замену исходного материала на аналогичный по своим характеристикам. Рассматривается сталь, которая обладает сравнимыми физическими свойствами. С целью оптимизации выбора материала осуществляется анализ и сравнение всех предложенных альтернатив по ряду критериев, включая стоимость, доступность и соответствие техническим требованиям производства<sup>1</sup>. Такой подход позволяет не только гарантировать высокое качество конечного продукта, но и обеспечить экономическую эффективность производственного процесса.

При окончательном выборе материалов учитываются условия эксплуатации и внешние факторы, такие как механические нагрузки и влияние внешней среды [3]. В случае необходимости прорабатываются вопросы улучшения механических свойств деталей путем ввода дополнительной упрочняющей обработки<sup>2</sup>.

Рассматриваются несколько подходящих материалов: углеродистые стали – сталь 35, сталь 45 и сталь 47ГТ.

<sup>1</sup> Рекомендации по применению низколегированных высокопрочных сталей для сварных конструкций: отчет о НИР / Институт электросварки им. Е. О. Патона. – Киев, 1977. – 77 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 1050-2013Metalloпродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей.



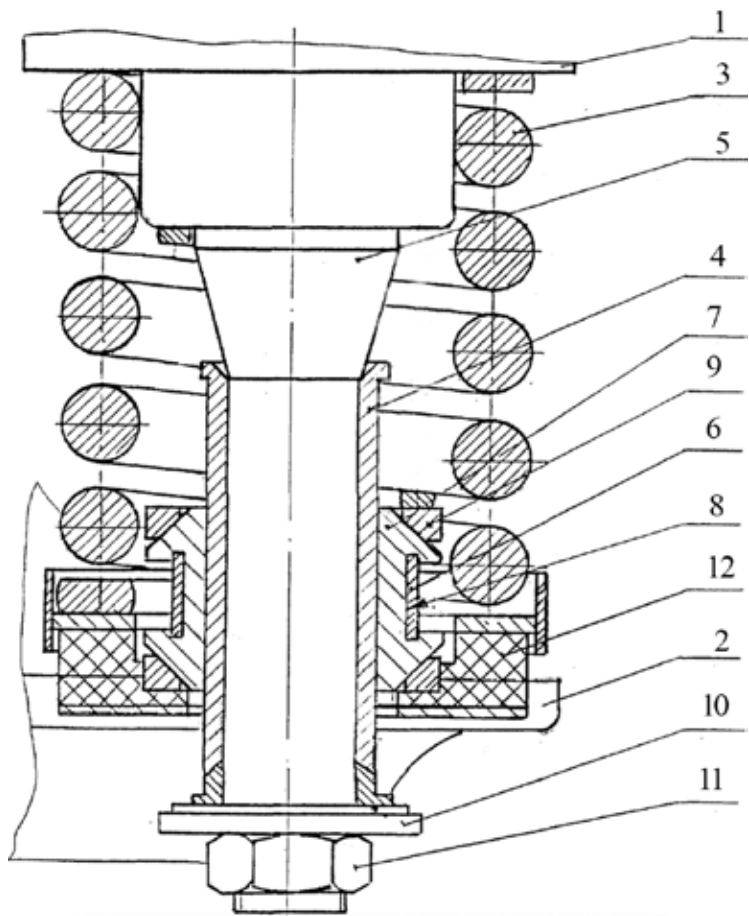


Рис. 1. Шпигонный узел вагона метрополитена: 1 – защитный колпак; 2 – резиновая прокладка; 3 – нижняя опора пружины; 4 – пластмассовая втулка; 5 – крепежная проволока; 6 – пружина; 7 – верхняя направляющая опора; 8 – шпигтон; 9 – стопорная планка; 10 – винт; 11 – фиксирующая гайка; 12 – защитный кожух; 13 – гайка; 14 – нижняя опора пружины; 15 – резиновая втулка; 16 – стяжной хомут<sup>3</sup>.

Проведение сравнительного анализа состава металлов позволяет понять их механические свойства и способность к обработке. Кроме того, это помогает оптимизировать процессы производства и улучшить качество

готовой продукции. Анализ химического состава материала стали марки 40X, представлен в таблице 1.

Анализ результатов, приведенных в таблице 1, показывает соответствие действительного состава стали 40X требованиям ГОСТ 4543.

Альтернативным материалом для изготовления шпигтонов рассматривается сталь 35. Она относится к среднеуглеродистым сталям, которые применяют после нормализации, улучшения и поверхностной заковки для

<sup>3</sup> Савинов С. Ю. Патент RU 16722 U1. Российская Федерация, Гаситель резонансных колебаний, № 2000119297/20, заявл. 15.02.2000: опубл. 02.10.2001 / Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральное конструкторское бюро транспортного машиностроения». – 8 с. [Электронный ресурс]: [https://patents.s3.yandex.net/RU16722U1\\_20010210.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU16722U1_20010210.pdf). Доступ 10.10.2020.

Таблица 1  
Химический состав шпигтона из стали 40X [составлена авторами]

Объект исследования	Элемент, массовая доля, %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
Шпигтон, сталь 40X	0,42	0,23	0,67	0,001	0,005	1,05	0,09	0,05
Требования ГОСТ 4543-71	0,35–0,45	0,15–0,39	0,48–0,82	не более		0,78–1,15	не более	
				0,035	0,035		0,30	0,30

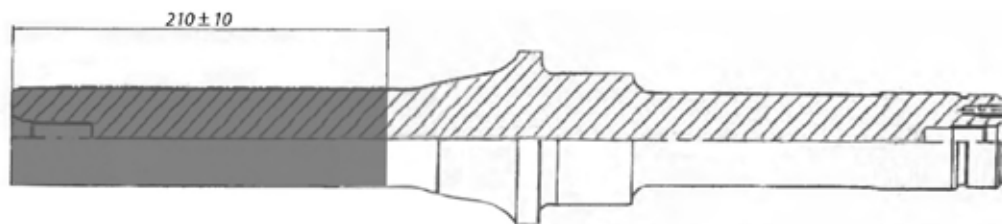


Рис. 2. Схема зоны «210» шпинтона [выполнена авторами].

разнообразных деталей машин [4]. Химический состав стали 35 приведен в таблице 2.

Анализ результатов исследования стали 35, представленных в таблице 2, позволяет убедиться в соответствии ее химического состава стандартам ГОСТ 1050.

Выбор в пользу стали 35 основывается на ряде преимуществ перед другими материалами-аналогами: изделия из нее выдерживают высокие ударные нагрузки. Для материала характерно отсутствие склонности к образованию трещин. Помимо всего прочего, для стали 35 характерно сочетание невысокой пластичности с твердостью. Среди преимуществ также можно назвать стоимостные характеристики: простота производственного процесса сказывается на относительно невысокой цене изделия. Также нет необходимости внедрять дорогостоящие легирующие добавки. Для стали 35 характерен достаточно широкий температурный диапазон применения от  $-40$  до  $+425^{\circ}\text{C}$ .

### Модернизация и оптимизация технологии изготовления шпинтона

Обработка деталей требует тщательно подобранных методик для достижения оптимальных свойств изделий<sup>4</sup>. Наиболее рациональный технологический процесс обработки шпинтонов складывается из следующих этапов: заготовка, полученная штамповкой, нормализация, дробеочистка, которая обеспечивает удаление заусенцев и других повер-

ностных дефектов [5]. Следующим этапом проводится механическая обработка для точной отделки формы и размеров детали. Далее – термическая обработка, включающая нагрев, закалочное охлаждение и отпуск.

В базовом варианте для устранения закалочных трещин на шпинтоне из стали 40Х необходимо проводить одновременное интенсивное закалочное охлаждение с отводом тепла от всех частей детали [6–8]. Закалочная среда – масло. Для решения проблемы экологической чистоты производства, которая будет становиться все более актуальной с течением времени, предлагается заменить закалочную среду масла на воду. Это позволит снизить негативное воздействие на окружающую среду. Используется быстродвижущийся поток воды для охлаждения материала с учетом скорости потока, давления и температуры для достижения желаемых характеристик закаленного изделия [9].

Показателем качества является обеспечение равномерной твердости по всему периметру изделия без необходимости прибегать к дополнительным операциям, таким как индукционный нагрев [10; 11].

Анализ эксплуатационных повреждений шпинтона, изготовленного из стали 40Х, показывает, что наиболее часто повреждение происходит в зоне «210» (см. рис. 2), что вызвано изменением прочностных свойств металла на участке перехода от высокопрочной зоны, закаленной индукционным способом, к зоне с улучшенной структурой.

Таблица 2

Химический состав шпинтона из стали 35 [составлена авторами]

Объект исследования	Элемент, массовая доля, %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
Шпинтон, сталь 35	0,33	0,24	0,62	0,001	0,005	0,11	0,09	0,06
Требования ГОСТ 1050-2013	0,31–0,41	0,15–0,39	0,47–0,83	не более				
				0,040	0,035	0,25	0,30	0,30
Шпинтон, сталь 35 (селект)	0,38–0,41	0,35–0,39	0,79–0,83	не более		0,21–0,25	0,25–0,30	Не более 0,30
				0,040	0,035			

<sup>4</sup> ГОСТ 2999-75 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу. – Введ. 1976.01.07. – М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1975. – 31 с.





При испытании шпинтонов для оценки качества изделий необходимо проводить оценку твердости, механических свойств по сечению деталей, ударной вязкости и металлографические исследования.

При подборе оптимальных режимов температурного воздействия (влияние продолжительности воздействия и температуры на качественные параметры изделий показано в работах [12–14]) в процессе закалки быстро движущимся потоком воды и дальнейшего отпуска можно достичь равномерной твердости по всему сечению шпинтона на уровне 45–50 HRC.

## ВЫВОДЫ

Шпинтонные системы подвешивания являются важным техническим решением в области железнодорожной техники и подвижного состава метрополитена. Разработка новых подходов к технологии закалочного охлаждения при изготовлении шпинтонов важна для повышения надежности и долговечности продукции. Предложенная технология закалочного охлаждения быстро движущимся потоком воды предполагает следующие преимущества:

- улучшение экологической обстановки за счет перехода от закалки в масле к воде;
- снижение себестоимости деталей при использовании стали 35 вместо 40Х.

Таким образом, новый технологический процесс производства шпинтонов не только позволит повысить качество и точность изготавливаемых деталей, но и будет выгоден с точки зрения экономической эффективности и экологической безопасности, что в свою очередь обеспечит высокую степень комфорта и безопасность пассажирских перевозок, а также откроет новые перспективы для разработки и совершенствования метропозедов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баранов И. В., Ермолин Ю. А., Рева В. Ф. Некоторые вопросы конструирования и технологии изготовле-

ния элементов и узлов рам тележек подвижного состава, связанные с повышением усталостной прочности // Труды МИИТ. – 1968. – Вып. 296. – С. 3–20.

2. Гушин А. Н., Гусев Ю. Б., Созинов С. В. Поведение малоуглеродистой предварительно деформированной стали при статическом и циклическом нагружении // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2013. – № 5 (102). – С. 168–176. [Электронный ресурс]: <https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2013/05/2013-05pdf> [полный текст выпуска]. Доступ 28.03.2024.

3. Bhadeshia, H. K. D. H., Honeycombe, R. W. K. Steels: Microstructure and Properties. 4<sup>th</sup> ed., 2017. ISBN 978-0-08-100270-4.

4. Пикеринг Ф. Б. Физическое металловедение и разработка сталей. – М.: Металлургия, 1982. – 184с.

5. Зайдес С. А., Ву Ван Гюн, Доан Тхань Ван. Разработка установки для повышения поверхностной твердости цилиндрических деталей // iPolytech Journal. – 2020. – Т. 24. – № 2. – С. 262–274. DOI: <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-2-262-274>.

6. Wang, Li, Speer, J. G. Quenching and Partitioning Steel Heat Treatment. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 2013, Vol. 2, pp. 268–281. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13632-013-0082-8>.

7. Inoue, T., Raniecki, B. Determination of thermal-hardening stress in steels by use of thermoplasticity theory. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 1978, Vol. 26, Iss 3, pp. 187–212. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-5096\(78\)90008-X](https://doi.org/10.1016/0022-5096(78)90008-X).

8. Шепеляковский К. З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве. – М.: Машиностроение, 1972. – 288 с.

9. Кузнецова Н. Ю. Исследование охлаждающей способности потока быстро движущейся воды при объемно-поверхностной закалке стали // XI Международная научно-техническая уральская школа-семинар молодых ученых-металловедов. – Екатеринбург, 2010. – С. 43–45.

10. Колмогоров Г. Л., Кузнецова Е. В., Тиунов В. В. Технологические остаточные напряжения и их влияние на долговечность и надежность металлоизделий: Монография. – Пермь: Изд-во Пермского нац. исслед. политехнического ун-та, 2012. – 226 с. ISBN: 978–5–398–00840–1.

11. Хворостухин Л. А., Шишкин С. В., Ковалев А. П. [и др.]. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением. – М.: Машиностроение, 1988. – 144 с.

12. Кобаско Н. И., Прохоренко Н. И. Влияние скорости охлаждения при закалке на образование трещин в стали 45 // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1964. – № 2. – С. 53–54.

13. Wu, B. W., Chen, G. X., Lv, J. Z., Zhu, Q., Zhao, X. N., Kang, X. Effect of the axlebox arrangement of the bogie and the primary suspension parameters on the rail corrugation at the sharp curve metro track. *Wear*, Vol. 426–427, Part B, 2019, pp 1828–1836. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.038>.

14. Iwnicki, S. Handbook of Railway Vehicle Dynamics (1<sup>st</sup> ed.). CRC Press. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420004892>. ISBN 13: 978-0-8493-3321-7. [Доступ для подписчиков].

### Информация об авторах:

**Попова Татьяна Александровна** – старший преподаватель кафедры технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава Российского университета транспорта, Москва, Россия, [tatiana241187@gmail.com](mailto:tatiana241187@gmail.com).

**Федин Владимир Михайлович** – доктор технических наук, профессор кафедры технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава Российского университета транспорта, Москва, Россия, [vmfedin@yandex.ru](mailto:vmfedin@yandex.ru)

**Попов Александр Петрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава Российского университета транспорта, Москва, Россия, [par60@bk.ru](mailto:par60@bk.ru).

Статья поступила в редакцию 05.12.2023, одобрена после рецензирования 21.04.2024, принята к публикации 23.04.2024.