

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.785

doi: 10.30987/2782-5957-2024-5-50-55

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОИЗВОДСТВА ВИНТОВЫХ ПРУЖИН ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Владимир Михайлович Федин^{1✉}, Анваржон Абдужабборович Бойматов², Александр Иванович Фимкин³, Сергей Николаевич Коржин⁴

^{1,3,4} Российский университет транспорта, Москва, Россия

² Федеральная Пассажирская Компания, Москва, Россия

¹ vmfedin@yandex.ru

² boymatov-an@mail.ru

³ smlab@yandex.ru

⁴ korjin@miit.ru

Аннотация

Рассмотрены вопросы обеспечения стабильного качества винтовых пружин пассажирского подвижного состава и экологической чистоты процесса термической обработки. В качестве решения предложена новая технология интенсивного закалочного охлаждения – объемного душирования пружинных сталей – 60С2ХА, 60С2ХФА, 51CrV4 с применением в качестве закалочной среды технической воды взамен масла. Проведен ряд экспериментальных исследований образцов пружин, прошедших предложенный вариант технологии зака-

лочного охлаждения. Установлено, что качественные показатели полученных пружин удовлетворяют основным требованиям нормативной документации на изделия. Для реализации технологического процесса закалочного охлаждения объемным душированием разработано экспериментальное оборудование, позволяющее перейти к разработке промышленной системы закалочного охлаждения.

Ключевые слова: пружинные стали, оборудование, оценка, прочность, параметры, транспорт.

Ссылка для цитирования:

Федин В.М. Сравнительные параметры производства винтовых пружин подвижного состава железнодорожного транспорта / В.М. Федин, А.А. Бойматов, А.И. Фимкин, С.Н. Коржин // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 5. – С. 50-55. doi: 10.30987/2782-5957-2024-5-50-55.

Original article

Open Access Article

COMPARATIVE PARAMETERS OF PRODUCING RAILWAY ROLLING STOCK COIL SPRINGS

Vladimir Mikhailovich Fedin^{1✉}, Anvarjon Abdujabborovich Boymatov², Aleksandr Ivanovich Fimkin³, Sergey Nikolaevich Korzhin⁴

^{1,3,4} Russian University of Transport, Moscow, Russia

² Federal Passenger Company, Moscow, Russia

¹ vmfedin@yandex.ru,

² boymatov-an@mail.ru,

³ smlab@yandex.ru,

⁴ korjin@miit.ru

Abstract

The issues of ensuring stable quality of coil springs of passenger rolling stock and environmental cleanliness of the heat treatment are considered. As a solution, a new technology of intensive quenching

cooling is proposed – volumetric water spraying of spring steels – 60C2XA, 60C2XFA, 51CrV4 using process water instead of oil as a quenching medium. A number of spring samples are experimentally studied,

which have passed the proposed version of quenching cooling. It is found out that the quality indicators of the obtained springs meet the basic requirements of regulatory documents for the products. To implement the technological process of quenching cooling by volu-

Reference for citing:

Fedin VM, Boymatov AA, Fimkin AI, Korzhin SN. Comparative parameters of producing railway rolling stock coil springs. Transport Engineering. 2024;5:50-55. doi: 10.30987/2782-5957-2024-5-50-55.

В силу специфики больших объемов потребления металла для производства винтовых пружин степень минимизации затрат имеет существенное значение для эффективной экономики отрасли. Наиболее широкое распространение, как в стране, так и за рубежом, имеет технология производства винтовых пружин из кремнистых пружинно-рессорных сталей, которыми являются стали 60С2ХФА и 60С2ХА [1]. Серийная технология производства пружин из этих сталей, а это закалка в масло и средний отпуск, обеспечивает сквозную прокаливаемость и получение в поверхностном слое растягивающих остаточных напряжений, которые снижают усталостную прочность пружин – один из основных показателей качества продукции. По этой причине после термообработки пружин проводят операцию дробенаклепа, что создает сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое [2].

В свое время активная позиция Департамента вагонного хозяйства по качеству пружин позволила организовать производственные площадки по изготовлению пружин подвижного состава, а именно НПЦ «Пружина», г. Ижевск и ПО «Вагонмаш», г. Железнодорожск. Причина - массовый выход из строя пружин, выпускаемых ОАО «БЗРП», г. Белорецк.

В работах [3, 4] показаны пути решения задач по улучшению эксплуатационного содержания деталей машин за счет применения технологии объемно-поверхностной закалки, основной принцип которой заключается в получении в деталях распределения прочностных свойств, наилучшим образом отвечающих нагруженности в эксплуатации – сжимающие напряжения в поверхностном слое и компенсирующие растягивающие в сердцевине. В работах [5, 6] приведена реали-

метрическая вода, экспериментальное оборудование было разработано, позволяющее приступить к разработке промышленной системы охлаждения.

Keywords: spring steels, equipment, evaluation, strength, parameters, transport.

зация такой технологии для деталей подвижного состава и верхнего строения пути, в том числе, для винтовых пружин тележек грузовых вагонов, где реализуется наиболее массовое потребление пружин. Особенность технологии объемно-поверхностной закалки заключается в том, что прокаливаемость применяемых сталей согласуется с диаметрами прутков. В качестве закалочной среды применяется техническая вода, степень легирования стали в 5–7 раз ниже по сравнению с кремнистыми пружинно-рессорными сталями и при производстве не применяется дробенаклеп. После закалки производится низкотемпературный отпуск. Формирование опорных витков обеспечивается вальцовкой. Наследственная мелкозернистость сталей с регулируемой прокаливаемостью формируется за счет введения азота [7].

В работах [8, 9] представлена технология НПЦ «Пружина», основанная на способе высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) стали 60С2ХФА. Закалочная среда - водный раствор полимеров. После закалки проводится среднетемпературный отпуск. Опорные витки пружин формируются плазменной резкой. Упрочняющая технология - дробенаклеп.

Сравнительный анализ двух технологических процессов массового производства пружин подвижного состава показывает, что технология изготовления пружин на ПО «Вагонмаш» обеспечивает экологическую чистоту процесса закалочного охлаждения (техническая вода). Технология предназначена для крупносерийного производства.

Процесс производства пружин на НПЦ «Пружина» является более универсальным для широкой номенклатуры. В ряде случаев применение плазменной резки

при формировании опорных витков пружин, приводит к образованию микротрещин в опорных витках и попадание расплавленного металла на первый-третий опорные витки, что отрицательно влияет на усталостную прочность готовых изделий.

Цель работы – повышение качества пружин, обеспечение экологической чистоты закалочного охлаждения при производстве пружин из пружинно-рессорных сталей. В качестве закалочной среды применяется техническая вода с интенсивной системой закалочного охлаждения – объемное душирование. Технология является одним из видов системы закалочного охлаждения быстро движущимся потоком воды.

Быстро движущийся поток воды – движение охлаждающей жидкости со скоростью V , достаточной для получения критической скорости охлаждения $V_{кр}$. на заданной толщине изделия в интервале температур наименьшей устойчивости аустенита (720...550) °С. Движение охлаждающей жидкости характеризуется по-

дачей воды душированием, потоком или смешанным движением.

При закалочном охлаждении пружин с диаметрами прутков (16–40 мм) из кремнистых пружинно-рессорных сталей существуют следующие проблемы:

1. Закалка пружин с диаметрами прутка свыше 35 мм в масле не обеспечивает сквозную прокаливаемость.

2. При закалке таких пружин в спокойной воде создаются условия получения неравномерного по сечению градиента твердости, что способствует образованию микротрещин.

Для устранения указанных проблем создано оборудование, на котором апробирован процесс объемного душирования винтовых пружин водой. Внешний вид участка МИИТ – Метровагонмаш представлен на рис. 1.

Нагрев пружин производится в серийной электропечи, а закалочное охлаждение выполняется на специализированном оборудовании.



Рис. 1. Нагревательное и закалочное оборудование для отработки процесса объемного душирования винтовых пружин широкой номенклатуры

Fig. 1. Heating and quenching equipment for testing the process of volumetric douching of screw springs of a wide range

Технология интенсивного закалочного охлаждения позволила применить стали 60С2ХА, 60С2ХФА, 51CrV4 при использовании в качестве закалочной среды технической воды, что устраняет использование полимерных сред и масла и

обеспечивает экологическую чистоту процесса термообработки. На рис. 2 приведен внешний вид широкой номенклатуры таких пружин.

На рис. 2 представлены пружины: 1 – чертеж 30.38.103, сталь 60С2ХА, ОАО

«КПП»; 2 – чертеж 875.20.001, сталь 60С2ХА, ОАО «КПП»; 3 – чертеж 7600.31.36.103, сталь 60С2ХА, ОАО «КПП»; 4 – чертеж 7600.31.36.102, сталь 60С2ХА, ОАО «КПП»; 5 – чертеж 7600.31.36.103, сталь 60С2ХФА, НПЦ «Пружина»; 6 – чертеж 7600.31.36.102, сталь 60С2ХФА, НПЦ «Пружина»; 7 – чертеж 7600.31.36.103, сталь 60С2ХФА, НПЦ «Пружина»; 8 – чертеж 7600.31.36.102, сталь 60С2ХФА, НПЦ «Пружина»; 9 – чертеж 1.7172К.31.35.101.00, сталь 51CrV4, Вен-

грия; 10 – чертеж 1.7172.31.35.100.00, сталь 51CrV4, Венгрия; 11 – чертеж 30.30.103, сталь 60С2ХА, ОАО «КПП»; 12 – чертеж 875.20.001, сталь 60С2ХА, ОАО «КПП». Режимы термической обработки пружин: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – объемное душирование, отпуск 520 °С, в течении одного часа; 7, 8 – серийное производство НПЦ «Пружина»; 9, 10 – закалка быстродвижущимся потоком воды, отпуск 540 °С, в течении одного часа; 11, 12 – серийное производство ОАО «КПП». Химический состав сталей исследуемых пружин приведен в таблице.

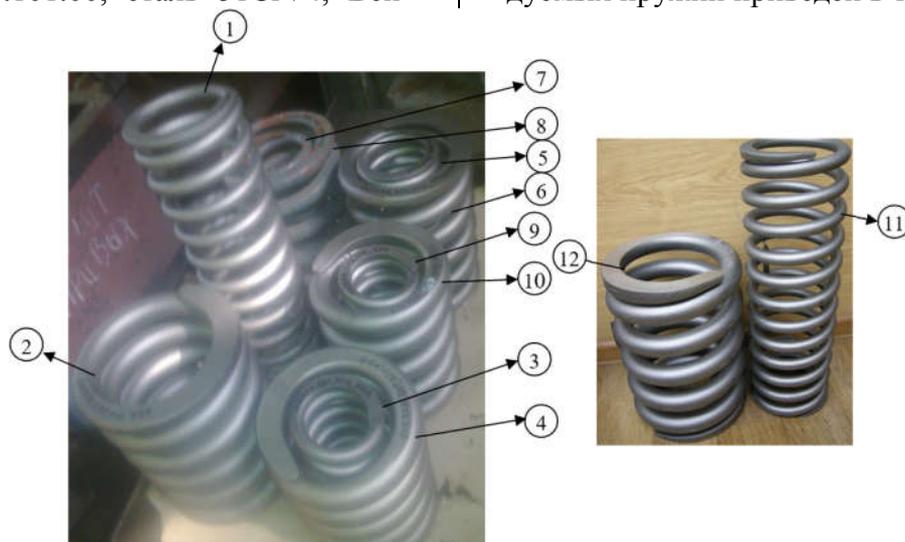


Рис. 2. Пружины после термообработки по технологии объемного душирования для проведения исследований
 Fig. 2. Springs after heat treatment for testing

Оценка качества термообработки представленной номенклатуры пружин после объемного душирования проводилась по представленным ниже показателям: результаты замера твердости исследуемых пружин соответствует требованиям НД; микроструктура поверхностного слоя и сердцевины представлена троостосорбитной структурой с незначительной разницей в дисперсности и в структуре сердцевины отсутствуют ферритные зерна; оценка релаксационной стойкости пружин, проведенная при статических испытаниях на универсальной испытательной машине EUS 40 показала, высокий уровень релаксационной стойкости после трехкратного обжатия исследуемых пружин: остаточная деформация отсутствует, что также подтверждается исследованиями микропластической деформации на двух типах пружин из стали 60С2ХА с диаметрами

прутков 20 и 36 мм; оценка циклической долговечности пружин, проведенная на универсальном стенде ОАО «КПП» на двух типах пружин (чертеж 30.30.103, диаметр прутка 20 мм и чертеж 875.20.001, диаметр прутка 36 мм) из стали 60С2ХА. Выбор режима нагружения пружин при испытаниях проводился заводом-изготовителем пружин в соответствии с ГОСТ 32208 [10]. Использовался асимметричный знакопостоянный цикл нагружения. Испытания проводились на двух образцах пружин каждого типа до достижения контрольного числа циклов нагружения $N_k = 500$ тыс.

Анализ результатов испытаний показал, что опытные пружины, изготовленные по чертежу 30.30.103 и чертежу 875.20.001 и упрочненные по технологии объемного душирования, выдержали контрольное количество циклов нагружения с остаточной деформацией 0,25...0,35 мм.

Химический состав сталей для пружин

Table 1

Chemical composition of steel for springs

Объект исследования	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	S	P	V	Ni	Cu
Пружины ОАО «КПП»	0,58	1,71	0,60	0,90	0,006	0,013	0,004	0,08	0,13
Сталь марки 60С2ХА по ГОСТ 14959-2016	0,56-0,64	1,40-1,80	0,40-0,70	0,70-1,00	Не более 0,025	Не более 0,025	-	Не более 0,25	Не более 0,20
Пружины ОАО «МВМ»	0,55	1,57	0,59	0,80	0,002	0,010	0,002	0,09	0,17
Сталь марки 51CrV4 по EN 10089-2003	0,47-0,55	не более 0,40	0,70-1,10	0,90-1,20	не более 0,025	не более 0,025	0,10-0,25	-	-
Пружины НПЦ «Пружина»	0,60	1,70	0,62	1,10	0,015	0,012	0,15	0,05	0,15
Сталь марки 60С2ХФА по ГОСТ 14959-2016	0,56-0,64	1,40-1,80	0,40-0,70	0,90-1,20	Не более 0,025	Не более 0,025	0,10-0,20	Не более 0,25	Не более 0,20

Заключение

1. Результаты проведенной работы показывают достижимость реализации закалочного охлаждения пружин из высоколегированных сталей 60С2ХА, 60С2ХФА, 51CrV4 технической водой взамен масла, что обеспечивает экологическую чистоту процесса термической обработки. Качественные показатели таких пружин удо-

влетворяют основным требованиям нормативной документации на изделия.

2. Экспериментальное оборудование, разработанное при обосновании технологии закалочного охлаждения объемным душированием, позволяет перейти к моделированию промышленной системы закалочного охлаждения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. М.: Металлургия, 1982. 400 с.
2. Кудрявцев И.В. Внутренние напряжения как резерв прочности в машиностроении. М.: Mashgiz, 1951. 273 с.
3. Шепеляковский К.З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве. – М.: Машиностроение, 1972. 288 с.
4. Шепеляковский К.З. Технология индукционной поверхностной закалки // Термическая обработка в машиностроении: Справочник под ред. Ю.М. Лахтина и А.Г. Рахштадта. М.: Машиностроение, 1980. С. 242-274.
5. Федин В.М. Объемно-поверхностная закалка деталей подвижного состава и верхнего строения пути. М.: Интекст, 2002. 208 с.
6. Термическое упрочнение упругих элементов железнодорожного подвижного состава быстродвижущимся потоком воды. Научная монография / В.М. Федин, Ю.В. Ронжина, А.И. Борц, С.П. Вакуленко, Д.П. Тихонов, Б.К. Ушаков. М:

ВИНИТИ РАН, 2012. 236 с.

7. Смирнов Л.А., Федин В.М., Ронжина Ю.В. Обеспечение наследственной мелкозернистости сталей пониженной и регламентированной прокаливаемости. Труды научно-практической конференции. Екатеринбург: Уральский рабочий. 2015, с. 223-228.
8. Редькин Л.М., Шаврин О.И., Потапов А.С. Повышение долговечности жестких пружин высокотемпературной термомеханической обработкой // Конструирование и технология изготовления пружин. Ижевск, 1986. С. 83-91.
9. Миколенко Т.П. Инновационные решения для железных дорог: сверхпрочные пружины для подвижного состава // Вагонный парк. 2014. №5. С. 22-26.
10. ГОСТ 32208 Пружины рессорного подвешивания железнодорожного подвижного состава. Метод испытания на циклическую долговечность М.: Стандартинформ, 2014. 15с.

REFERENCES

1. Rakhshadt AG. Spring steels and alloys. Moscow: Metallurgiya; 1982.
2. Kudryavtsev IV. Internal stresses as a reserve of strength in machine building. Moscow: Mashgiz;

1951.

3. Shepelyakovsky KZ. Hardening of machine parts by surface hardening under induction heating. Moscow: Mashinostroenie; 1972.

4. Shepelyakovskiy KZ. Technology of induction surface hardening. Thermal processing in mechanical engineering: handbook Moscow: Mashinostroenie; 1980.
5. Fedin VM. Volumetric surface hardening of rolling stock parts and the upper structure of the track. Moscow: Intext; 2002.
6. Fedin VM, Ronzhina YuV, Borts AI, Vakulenko SP, Tikhonov DP, Ushakov BK. Thermal hardening of elastic elements of railway rolling stock by a fast-moving stream of water: monograph. Moscow: VINITI RAS; 2012.
7. Smirnov LA, Fedin VM, Ronzhina YuV. Ensuring hereditary fine-grained steels of reduced and regu-

lated hardenability. Proceedings of the Scientific and Practical conference. Yekaterinburg: Uralsky Rabichy; 2015.

8. Redkin LM, Shavrin OI, Potapov AS. Increasing the durability of rigid springs by high-temperature thermo-mechanical treatment. The design and technology of the manufacture of springs. Izhevsk; 1986.
9. Mikolenko TP. Innovative solutions for railways: heavy-duty springs for rolling stock. Wagonny Park. 2014;5:22-26.
10. GOST 32208 Springs for spring suspension of railway rolling stock. The method of testing for cyclic durability Moscow: Standartinform; 2014.

Информация об авторах:

Федин Владимир Михайлович – доктор технических наук, профессор, начальник научного центра Российского университета транспорта, тел. +7 916 677 46 09, e-mail: vmfedin@yandex.ru.

Бойматов Анваржон Абдужабборович – инженер, ведущий технолог пассажирского вагонного депо Москва-3 Московского филиала АО «ФПК», e-mail: boymatov-an@mail.ru.

Фимкин Александр Иванович – кандидат техни-

ческих наук, заведующий лабораторией кафедры «Строительная механика» Российского университета транспорта, тел. +7 919 779 83 19, e-mail: smlab@yandex.ru.

Коржин Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта, тел. +7 916 778 6876, e-mail: korjin@miit.ru.

Fedin Vladimir Mikhailovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Scientific Center of the Russian University of Transport; phone: +7 916 677 46 09; e-mail: vmfe-din@yandex.ru .

Boymatov Anvarjon Abdujabborovich – Engineer, leading technologist of passenger car depot Moscow-3 of Moscow branch of Federal Passenger Company; e-mail: <url> boymatov-an@mail.ru.

Fimkin Aleksandr Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of the Department of Construction Mechanics at Russian University of Transport; phone: +7 919 779 83 19; email address: smlab@yandex.ru .

Korzhin Sergey Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Cars and Car Facilities at Russian University of Transport; phone: +7 916 778 6876; e-mail: korjin@miit.ru .

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 04.04.2024; одобрена после рецензирования 15.04.2024; принята к публикации 26.04.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 04.04.2024; approved after review on 15.04.2024; accepted for publication on 26.04.2024. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.