

5. A. O. Pozdnyakov, Li Syanshun and E. B. Sedakova, Molecular Mechanisms of Polyoxymethylene Wear, Journal of Friction and Wear, 2024, Vol. 45, No. 1, pp. 24–31.

DOI: 10.3103/S1068366624700041

6. В.И. Веттегрень, А.Я. Башкарев, М.А. Суслов, Физика твердого тела, 2005, том 47, вып. Кинетика трения и износа полимерных композиционных материалов, С. 1619-1624.

7. Тихонов Р. С. Старостин Н. П. Численное определение температурного поля в системе подшипников на общем валу с учетом скорости его вращения // Математические заметки СВФУ. 2014. №3.

8. Привалко В.П. О температуре стеклования политетрафторэтилена и полиоксиметилена // Высокомолекуляр. соединения А. 1976 (18), № 6, 1213

9. Поздняков А.О., Преображенский В.Л., Мясникова Л.П., Соловьева О.Ю., Данилова К.А., Бойко Ю.М., Новый подход к изучению процессов трения, Письма в журнал технической физики, 2023, 23, С. 65-68

A.O. Pozdnyakov^{1,2}, E.B. Sedakova²

¹Ioffe Institute, Saint Petersburg, Russia, ao.pozd@mail.ioffe.ru

²IPME, Saint Petersburg, Russia

THERMAL ANALYSIS OF POLYMER-POLYMER FRICTION PAIRS IN THRUST BEARING GEOMETRY

Abstract

The study of friction and wear of pairs polyoxymethylene-polyoxymethylene and polytetrafluoroethylene-polytetrafluoroethylene with the synchronized measurements of friction force and friction generated heating has been carried out. The data were analyzed by using finite element simulations of heat problem in the thrust bearing geometry used in the experiments. The accuracy of the simulations was proved by comparison with the analytic solutions. The approach developed in this work has been applied to compare the wear of neat POM and POM-C₆₀ composite as well as for comparison with the wear resistance of these polymers upon friction against steel.

Keywords: friction, wear resistance, heat generation, polyoxymethylene, polytetrafluoroethylene, fullerene, steel.

УДК 665.9.046

doi: 10.18720/SPBPU/2/id24-227

Д. Г. Тюленев, В. Ю. Шолом, А.Н. Абрамов

«Хозрасчётный творческий центр Уфимского авиационного института»,

г. Уфа, Россия, zavlab@rosoil.ru

РАЗРАБОТКА ВОДОПОЛИМЕРНОЙ ЗАКАЛОЧНОЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛИННОМЕРНЫХ РЕЛЬСОВ

Аннотация

В статье представлены результаты разработки и внедрения импортозамещающей водорастворимой закалочной жидкости «Росойл-51» для термической обработки металлов.

Приведены результаты сравнительных лабораторных испытаний

охлаждающей способности закалочной жидкости «Росойл-51» и импортного аналога. Охлаждающие характеристики закалочных сред определяли на установке УЗС-2 отечественного производства, позволяющей проводить испытания в соответствии с требованиями международных стандартов ISO 9950, ASTM D6200 - 01 и ASTM D6482 – 06. Описаны результаты опытно-промышленных испытаний и внедрения водополимерной закалочной жидкости «Росойл-51» в условиях ПАО «Челябинского металлургического комбината» при производстве длинномерных железнодорожных рельсов.

Ключевые слова: термообработка; закалка; закалочные среды; охлаждающая способность; водополимерные закалочные жидкости; рельсы.

Введение

Повышение износостойкости пары трения «колесо-рельс» - сложный многофакторный процесс, требующий комплексного подхода. Одним из шагов к решению этой проблемы является повышение твердости рельса путем термической обработки с использованием закалочных сред. Повышение износостойкости и механических характеристик рельсов, используемых на железных дорогах большой протяженности, необходимы для снижения затрат на техническое обслуживание железных дорог [1-4].

В России произведено существенная модернизация и обновление технологических мощностей по производству рельсов: проведена масштабная реконструкция рельсового производства на АО «ЕВРАЗ ЗСМК», построен новый рельсобалочный цех в ПАО «Челябинский металлургический комбинат». Новое оборудование указанных выше рельсовых производств учитывает современные тенденции и позволяет производить длинномерные (длиной до 100 м) дифференцированно термоупрочненные рельсы с использованием тепла прокатного нагрева и новых экологически чистых охлаждающих сред [4].

Для повышения твердости и соответственно износостойкости рельсов применяют дифференцированную термообработку с использованием водополимерных закалочных сред [5-7]. Известно, что за счет термической обработки можно повысить эксплуатационную стойкость и уменьшить износ рельсов в 1,5 раза, а затраты по текущему содержанию пути снизить на 35 % [8-10].

Преимущество закалочных сред на водной основе заключается в том, что охлаждающие свойства последних могут регулироваться концентрацией основного вещества в растворе, что позволяет получать необходимую скорость охлаждения поверхности и объема детали в заданном диапазоне температур и, соответственно, формировать требуемую микроструктуру и уровень механических свойств обрабатываемых деталей. Кроме этого, закалочные водополимерные среды, по сравнению с маслами, улучшают экологическую обстановку и пожаробезопасны [11].

На российских предприятиях широко используют импортные водополимерные закалочные среды «Feroquench» компании PETROFER (Германия) и другие продукты аналогичного назначения, которые поставлялись в Россию вместе с зарубежным оборудованием. Разработка отечественных аналогов водополимерных закалочных сред, особенно в текущий период времени, является актуальной научно-технической задачей.

В данной статье приводятся результаты работ по разработке и внедрению отечественных аналогов импортных закалочных сред с использованием установки,

отечественного производства, позволяющей проводить испытания в соответствии с требованиями международных стандартов ISO 9950, ASTM D6200 - 01 и ASTM D6482 – 06.

Материалы и методы испытаний

Определение охлаждающих характеристик разработанной водополимерной закалочной жидкости «Росойл-51» в сравнении с импортным аналогом проводили на установке УЗС-2 производства «ХТЦ УАИ» [12-16].

На установке определяли следующие охлаждающие характеристики закалочных сред: максимальную скорость охлаждения, температуру при максимальной скорости охлаждения, скорость охлаждения при 300°С, время охлаждения до 600 °С, 400 °С, 200 °С и представляли графические зависимости “температура-время”, “температура-скорость”.

Опытно-промышленные испытания «Росойл-51» проведены в условиях ПАО «Челябинский металлургический комбинат» при термообработке железнодорожных рельсов.

Результаты и обсуждение

Публичное акционерное общество «Челябинский металлургический комбинат» производитель рельсов различного профиля, которые применяются в конструкциях верхнего строения пути железнодорожных линий общественного пользования, метрополитенов, ж/д линий муниципального транспорта, ж/д линий промышленных предприятий [6].

Длина рельсов от 12,5 до 100 метров. Производственная мощность рельсобалочного стана - более 1000000 тонн в год. Длина технологической линии 3,5 км. Площадь производства - 186 000 м². Производство рельсов – единая технологическая цепочка от выплавки стали до прокатки и термообработки на рельсобалочном стане. Технология термообработки рельсов производится методом дифференцированной закалки. Рельсобалочный стан производит термообработку рельсов в автоматическом режиме [6,17]. Процесс закалки рельсов в условиях ПАО «ЧМК» обеспечивает необходимый комплекс свойств: твердость, механические свойства и микроструктуру в соответствии нормативными требованиями (рисунок 1).



Рисунок 1 – Технологическая линия термообработки рельсов

При закалке применяется водополимерная жидкость «Feroquench». В настоящее время возникли сложности с поставкой «Feroquench» из

Германии. В связи с этим «ЧМК» обратилось в «ХТЦ УАИ» с целью импортозамещения жидкости «Feroquench».

В результате исследований в лаборатории испытаний технологических смазочных материалов «ХТЦ УАИ» создана водополимерная закалочная жидкость «Росойл-51» (ТУ 20.59.59-166-06377289-2023), которая является аналогом «Feroquench».

Значения характеристик охлаждающей способности и графические зависимости «температура-время», «температура-скорость» закалочных сред «Росойл-51» и «Feroquench» концентрации в сравнении с закалочным маслом «МЗМ-16» и водой в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 - Значения характеристик охлаждающей способности закалочных жидкостей «Росойл-51» и «Feroquench», закалочного масла «МЗМ-16», Воды

Закалочная жидкость	Время охлаждения, сек			Скорость охлаждения при 300°C, °C/c	Максимальная скорость охлаждения, °C/c	Температура при максимальной скорости охлаждения, °C
	до 600°C	до 400°C	до 200°C			
«Росойл-51»	16	27	32	40	41	260
«Feroquench»	16	28	33	40	41	278
«МЗМ-16»	11	15	49	6	65	534
Вода	3	4	7	75	205	616

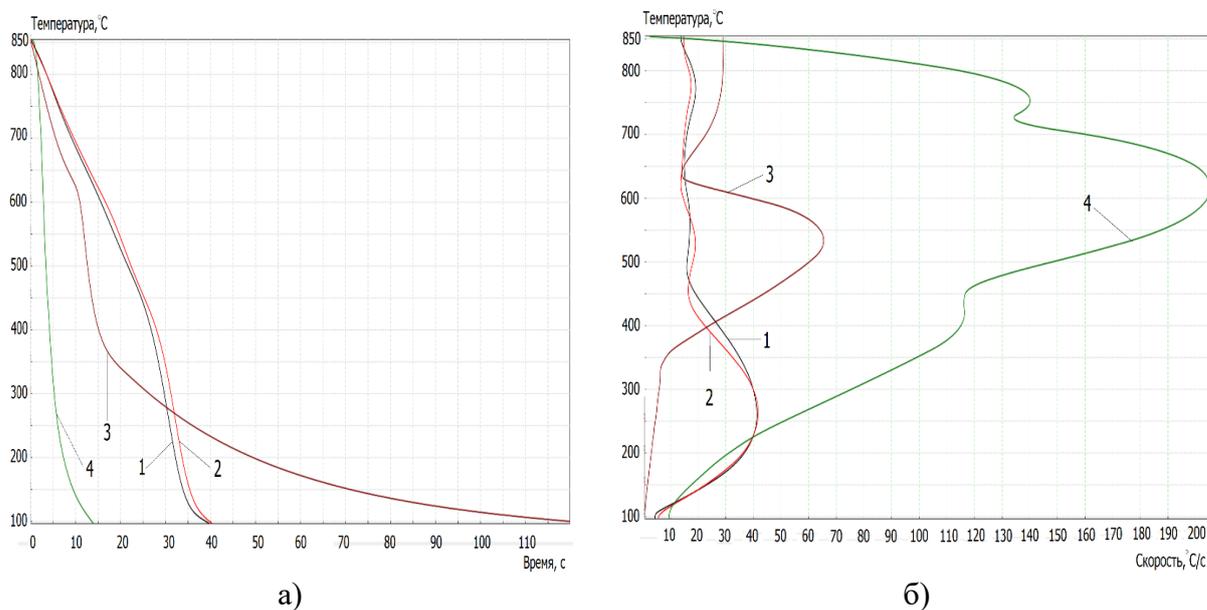


Рисунок 1 - Кривые охлаждения закалочных жидкостей: а) «температура-время»; б) «температура-скорость» 1 - «Росойл-51», 2 - «Feroquench», 3 – Закалочное масло «МЗМ-16», 4 – Вода.

Результаты лабораторных испытаний показали:

1. Охлаждающие характеристики «Росойл-51» и «Feroquench» имеют практически равные значения.

2. Отличительной особенностью данных водополимерная жидкостей является низкая скорость охлаждения (14 – 18 °C/c) в области температур (850 – 450) °C. Это позволяет получать требуемую микроструктуру головки рельса – пластинчатый перлит. После проведения лабораторных исследований, была приготовлена опытная

партия водополимерной закалочной жидкости «Росойл-51» для проведения лабораторно-промышленных испытаний. В рамках программы проведения лабораторно-промышленных испытаний по подбору отечественных аналогов водорастворимой полимерной закалочной среды проведено опытное термоупрочнение рельсовых проб в растворе полимера «Росойл-51» для определения диапазона технологических параметров закалки, а также изменения свойств и характеристик данного раствора с течением времени.

Результаты лабораторно-промышленных испытаний показали, что рельсовые пробы термоупрочненные в растворе «Росойл-51» имеют твердость, механические свойства и микроструктуру в соответствии нормативными значениями ГОСТ Р 51685-2013.

Далее были проведены опытно-промышленные испытания «Росойл-51» при термообработке партии рельсового проката.

Микроструктура исследованных проб представляет собой пластинчатый перлит. Наличие неравновесной структуры бейнита не наблюдается.

Все испытанные пробы партии рельсов соответствуют требованиям ГОСТ Р 51685-2013. Твердость, механические свойства и микроструктура рельса термоупрочненного в водополимерной закалочной жидкости «Росойл-51» в пределах нормативных значений.

В настоящее время освоено производство водополимерной закалочной жидкости «Росойл-51» на ООО «Опытный завод смазок и оборудования» в городе Уфа и организована поставка водополимерной закалочной жидкости «Росойл-51» на ПАО «ЧМК» в необходимых объемах.

Заключение

1. Разработана новая отечественная водополимерная закалочная жидкость «Росойл-51» для дифференцированной термообработки длинномерных рельс.
2. Проведены лабораторные и опытно-промышленные испытания закалочной жидкости «Росойл-51» в сравнение с импортным аналогом «Feroquench».
3. Освоено производство закалочной жидкости «Росойл-51».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.М. Зуев. Термическая обработка металлов: 5-е издание, стереотипное – М.: Высшая школа; 2001. 288 с.
2. Лебедева Т.С. Потенциал повышения качества рельсов. Совершенствование технологии механико-термической обработки «Развивая энергетическую повестку будущего» Санкт-Петербург, 10–11 декабря 2021, Издательство: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина).
3. Громов В.Е., Волков К.В., Иванов Ю.Ф., Морозов К.В. и др. Формирование тонкой структуры металла рельсов повышенной износостойкости // Вопросы материаловедения. 2013. Т. 76. № 4. С.15 – 23.
4. Полевой Е.В. Разработка ресурсосберегающей технологии дифференцированной термической обработки длинномерных железнодорожных рельсов / Е.В. Полевой дис. ... кан. тех. наук: 05.16.01: защищена 03.07.18: утв. 15.09.17. - Новокузнецк: СибГИУ, 2018. - 132 с.
5. Горюшин В.В. О применении синтетических закалочных сред в промышленности // МиТОМ. 1991. N2 4. С.10–14.
6. Капнин, В. В. Освоение технологии производства рельсов на ОАО «ЧМК» / В. В. Капнин, Д. В. Шабуров // Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых креплений: сборник научных докладов по материалам юбилейного 130-го заседания

некоммерческого партнерства «Рельсовая комиссия», Новокузнецк, 7–9 октября 2014 г. – Санкт-Петербург, 2015. – С.77–79.

7. Технологии дифференцированной термообработки ТЭЖ для производства рельсов и остряков / С. В. Хлыст [и др.] // Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений: сборник научных докладов по материалам юбилейного 130-го заседания некоммерческого партнерства «Рельсовая комиссия», Новокузнецк, 7–9 октября 2014 г. – Санкт-Петербург, 2015. – С. 221–230.

8. Перегудов, О. А. Изменение тонкой структуры и свойств рельсов при длительной эксплуатации / О. А. Перегудов. дис. ... кан. тех. наук: 01.04.07: защищена 16.05.17: утв. 15.09.17. - Новокузнецк: СибГИУ, 2017. - 199 с.

9. Грачев, В. В. Влияние дифференцированной закалки на свойства рельсов из стали М76/ В. В. Грачев, В. И. Петров, К. А. Лисицын, В. Е. Громов. В кн.: Тез. докл. III Всероссийск. конф. молодых ученых "Физическая мезомеханика материалов". - Томск: ТПУ, 2001. С. 112.

10. Колосова, Э.Л. Исследование возможности использования полимерной среды для закалки рельсов / Э. Л. Колосова [и др.] // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1988. – № 12. – С.76–80.

11. Майсурадзе М.В., Антаков Е.В., Назарова В.В. Охлаждающая способность современных промышленных полимерных закалочных сред // Сталь. 2021. № 8. С.50–59.

12. Шолом В.Ю, Абрамов А.Н., Казаков А.М., Шолом А.В., Иванов В.В. Установка для определения охлаждающих характеристик технологических сред // КИП ОМД. 2014. № 5. С.30–33.

13. ISO 9950:1995(E). Industrial quenching oils Determination of cooling characteristics - Nickel-alloy probe test method. – Geneve: International Organization for Standardization, 1995. – 9 p.

14. Шолом, А. В. Разработка и модернизация установки для определения охлаждающих характеристик технологических жидкостей. / А.В. Шолом, Д.Г. Тюленев, А. Н. Абрамов // Сборник материалов шестого междисциплинарного научного форума с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии». Изд-во «Центр научно-технических решений» г. Москва, 23-27 ноября 2020 г. Том I. С. 1026-1030.

15. Шолом, А. В. Исследование триботехнических свойств водосмешиваемых смазочно-охлаждающих жидкостей в зависимости от их охлаждающих характеристик. / С.М. Пилюгин, А.В. Шолом, А.Н. Абрамов, В.Ю. Шолом, Д.Г. Тюленев // Материалы XIV Международной научно-технической конференции «Трибология – машиностроению», г. Москва, 12-14 октября 2022 г. С. 244-246.

16. Пат. 2699698 Российская Федерация, МПК C21D 11/00 G01N 25/20 Установка для определения охлаждающей способности технологических сред. / А.В. Шолом, А.Б. Поляков, Д.Г.Тюленев и др.; заявитель и патентообладатель ООО ХТЦ УАИ. Заявлено 12.07.2018. Опубл. 09.09.2019. Бюл. № 25.

17. Сайт ПАО «ЧМК» <https://mechel.ru/sector/steel/chelyabinskiy-metallurgicheskiy-kombinat/>

18. Сайт Комсомольская правда: <https://www.chel.kp.ru/daily/26868/3910591>

D. G. Tyulenev, V. Yu. Sholom, A.N. Abramov
“Self-supporting creative center of the Ufa Aviation Institute”,
Ufa, Russia, zavlab@rosoil.ru

DEVELOPMENT OF A WATER-POLYMER QUENCHING LIQUID FOR DIFFERENTIATED HEAT TREATMENT OF LONG RAILS

Annotation

The article presents the results of the development and implementation of the

import-substituting water-soluble quenching liquid "Rosoil-51" for the heat treatment of metals.

The results of comparative laboratory tests of the cooling ability of the quenching liquid "Rosoil-51" and an imported analogue are presented. The cooling characteristics of quenching media were determined using a domestically produced UZS-2 installation, which allows testing in accordance with the requirements of international standards ISO 9950, ASTM D6200 - 01 and ASTM D6482 - 06. The results of pilot tests and the introduction of water-polymer quenching liquid "Rosoil-51" are described. » in the conditions of PJSC Chelyabinsk Metallurgical Plant in the production of long railway rails.

Keywords: heat treatment; hardening; quenching media; cooling capacity; water-polymer quenching liquids; rails.

УДК 629.5.018.2

doi: 10.18720/SPBPU/2/id24-228

К.А. Абрамов, Д.Г. Тюленев, А.Н. Абрамов, С.М. Пилюгин, Т.И. Гильманов
Хозрасчётный творческий центр уфимского авиационного института,
г. Уфа, Россия, Abramov@rosoil.ru

УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА ТРЕНИЕ И ИЗНОС

Аннотация

Представлена усовершенствованная защищенная патентом РФ конструкция установки (далее трибометр) для определения противозадирных, антифрикционных и противоизносных свойств металлических и смазочных материалов. В трибометре радиальная сила на узел трения («ролик – кольцо» или «брусочек – кольцо») создается механизмом плавного нагружения, а оценку противозадирных смазочных материалов определяют в момент схватывания трущихся образцов, в результате которой происходит остановка вала электродвигателя. В результате модернизации машины стало возможным измерять силу трения, нормальную нагрузку и рассчитывать коэффициент трения. Приведены результаты сравнительных испытаний на модернизированной машине трения и четырехшариковой машине трения смазочно-охлаждающих жидкостей.

Ключевые слова: машина трения, трибометр, противозадирные свойства, антифрикционные свойства, силоизмерительный датчик, механизм плавного нагружения, нагрузка схватывания, коэффициент трения.

Введение

Существуют множество трибометров для исследования процесса трения в различных схемах испытаний [1-7]. В настоящее время наметился отход от создания многоцелевого габаритного испытательного оборудования триботехнического назначения, который можно объяснить стремлением исследователей упростить и удешевить машины трения и использовать один привод для воссоздания различных схем испытаний. При этом существенно экономится пространство в испытательной лаборатории. Значительно уменьшились габариты современных измерительных систем, с помощью которых можно регистрировать и компьютеризировать сбор экспериментальных данных. В тоже время на протяжении многих последних десятилетий, в машинах трения используются относительно крупные образцы, а