

Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.892

doi: 10.30987/2782-5957-2024-1-4-12

ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДАЮЩИХ СВОЙСТВ ЗАКАЛОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ И РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ТВЕРДОСТЬ СТАЛИ 40С2

Денис Генрихович Тюленев^{1✉}, Владимир Юрьевич Шолом², Алексей Николаевич
Абрамов³, Дмитрий Федорович Пузырьков⁴

^{1,2,3,4} «Хозрасчётный творческий центр Уфимского авиационного института», Уфа, Россия

¹ zavlab@rosoil.ru

² rosoil@rosoil.ru

³ abramov@rosoil.ru

⁴ rosoil@rosoil.ru

Аннотация

Целью данной работы являлась разработка отечественного закалочного масла для процесса закалки пружинных клемм. Представлены результаты исследований влияния охлаждающих свойств закалочных жидкостей на твердость стали 40С2. Создано отечественное закалочное масло «Росойл-277» - аналог импортного масла «Isorapid 277» («PETROFER» Германия) для процесса закалки рельсовых клемм. Испытания проводились на установке для определения охлаждающих характери-

стик технологических и закалочных сред. Подобрана водополимерная закалочная жидкость в качестве замены закалочного масла. Результаты измерения твердости на заготовках из стали 40С2 показали, что закалка в водополимерной закалочной жидкости «Росойл-52» дает более высокие значения твердости, по сравнению с закалкой в масле «Росойл-277».

Ключевые слова: закалка, жидкость, термообработка, характеристики.

Ссылка для цитирования:

Тюленев Д.Г. Влияние охлаждающих свойств закалочных жидкостей и режимов термообработки на твердость стали 40С2 / Д. Г. Тюленев, В.Ю. Шолом, А.Н. Абрамов, Д.Ф. Пузырьков // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 1. – С.4-12. doi: 10.30987/2782-5957-2024-1-4-12.

Original article

Open Access Article

THE INFLUENCE OF COOLING PROPERTIES OF QUENCHING LIQUIDS AND HEAT TREATMENT MODES ON 40C2 STEEL HARDNESS

Denis Genrikhovich Tyulenev^{1✉}, Vladimir Yurievich Sholom², Aleksey Nikolaevich
Abramov³, Dmitry Fedorovich Puzyrkov⁴

^{1,2,3,4} Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute, Ufa, Russia

¹ zavlab@rosoil.ru

² rosoil@rosoil.ru

³ abramov@rosoil.ru

⁴ rosoil@rosoil.ru

Abstract

The paper objective is to develop a domestic quenching oil for hardening spring clips. The study results of the effect of quenching liquid cooling proper-

ties on 40C2 steel hardness are presented. Domestic quenching oil Rosoil-277, an analog of the imported oil Isorapid 277 (PETROFER Germany) is made – for

quenching rail clips. The tests were carried out at the installation to determine the cooling characteristics of technological and quenching media. A water-polymer quenching liquid is selected as a substitute for quenching oil. The results of hardness measurements on 40C2

steel workpieces showed that quenching in Rosoil-52 water-polymer quenching liquid gives higher hardness values compared with quenching in Rosoil-277 oil.

Keywords: quenching, liquid, thermal treatment, characteristics.

Reference for citing:

Tyulenev DG, Sholom VYu, Abramov AN, Puzyrkov DF. The influence of cooling properties of quenching liquids and thermal treatment modes on 40C2 steel hardness. *Transport Engineering*. 2024;1:4-12. doi: 10.30987/2782-5957-2024-1-4-12.

Введение

Производство рельсовой клеммы несколько отличается от технологии изготовления других видов пружинных изделий как по содержанию операций, так и точности соблюдения основных параметров производства. Технологический процесс изготовления пружинных изделий в большинстве случаев включает подготовку исходного металла: формообразование пружины, отделку заготовок и термообработку [1-5].

Одним из перспективных материалов для производства пружинных элементов следует считать сталь марки 40C2 [1-3]. Она менее подвержена обезуглероживанию поверхности и графитизации, а также характеризуется большей пластичностью и пониженным, по сравнению с другими марками кремнистой стали, сопротивлением пластической деформации в холодном и горячем состоянии, что позволяет вести обработку давлением на универсальном оборудовании при удовлетворительной стойкости инструмента [5]. Сталь марки 40C2A допускает реализацию процесса закалки в воде.

Цель закалки конструкционных и инструментальных сталей – повышение прочности, твердости и износостойкости при получении структуры мартенсита. Для превращения аустенита в мартенсит скорость охлаждения должна быть больше критической скорости закалки $V_{кр}$ – наименьшей скорости охлаждения, при которой весь аустенит переохлаждается до мартенситного превращения. Если скорость охлаждения будет меньше $V_{кр}$, аустенит распадается на феррито-цементитную смесь (тростит, сорбит, перлит).

Требуемую скорость охлаждения можно обеспечить подбором охлаждающей среды. Для закалки обычно применяют воду, минеральные масла, водополимерные закалочные жидкости. Основным преимуществом масел по сравнению с водой является медленное охлаждение в мартенситной области (ниже 300 °С), вследствие чего закалка в масле дает меньшую деформацию, напряжения и склонность к образованию закалочных трещин [6].

Водополимерные закалочные жидкости позволяют регулировать скорость охлаждения в диапазоне вода-масло, изменяя концентрацию раствора [7].

По существующей технологии рельсовые клеммы изготавливаются из стали марки 40C2. Термообработка клемм проводится по следующей схеме:

- предварительный нагрев при температуре 400°С, выдержка 30 мин;
- нагрев до температуры (940±10) °С, выдержка 35 мин;
- охлаждение в закалочном масле «Isorapid 277» («PETROFER» Германия) нагретом (60...80) °С;
- отпуск при температуре (350...415) °С, выдержка 270 мин;
- остывание на воздухе.

Требования к рельсовым клеммам после термообработки:

1. Первичная твердость после закалки более 53,7 HRC по всему диаметру.

2. Микроструктура после закалки должна состоять из мартенсита с максимальным содержанием остаточного феррита 2 %.

3. Твердость после отпуска (42,6...45,9) HRC.

Цели работы

1. Разработка отечественного закалочного масла для процесса закалки пружинных клемм.

2. Подбор закалочной жидкости на основе полимеров взамен закалочного масла для процесса закалки пружинных клемм.

Задачи работы

1. Сравнительный анализ охлаждающей способности закалочных сред.

2. Определение физико-химических свойств закалочных масел «*Isorapid 277*» и «Росойл-277». Анализ совместимости масел.

3. Проведение термообработки образцов стали 40С2 в закалочном масле и водополимерной закалочной жидкости.

4. Замеры твердости образцов после проведения закалки и отпуска.

Проведение исследований

Испытания проводились на установке для определения охлаждающих характеристик технологических и закалочных сред (зав. № 0050 производитель ООО «ХТЦ УАИ») [1].

Установка предназначена для определения охлаждающих характеристик различных сред, таких как водные растворы

полимеров, солей, закалочных масел, смазочно-охлаждающих жидкостей и других жидкостей, применяемых машиностроению и металлургии. Установка позволяет проводить испытания по следующим международным стандартам ISO 9950, ASTM D6200 - 01 и ASTM D6482 – 06 [8,9].

Результаты и обсуждение

Основные физико-химические свойства закалочных масел представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические свойства закалочных масел

Table 1

Physicochemical properties of quenching oils

№	Показатель	<i>Isorapid 277</i>	Росойл-277	Метод испытания
1	Кинематическая вязкость при 40°C, мм ² /с	26	26	ГОСТ 33
2	Температура вспышки в открытом тигле, °C	195	196	ГОСТ 4333

Построение кривых охлаждения исследуемых закалочных сред на установке для определения охлаждающих характеристик технологических и закалочных сред. Температура закалочных масел 60 °C, водополимерной закалочной жидкости 40 °C;

Определение характеристик охлаждающей способности закалочных сред;

Значения характеристик охлаждающей способности закалочных сред (время охлаждения до 600 °C, 400 °C, 200 °C, скорость охлаждения при 300 °C, максимальная скорость охлаждения, температура при максимальной скорости охлаждения) представлены в табл. 2 (средние значения).

Разработанное закалочное масло «Росойл-277», по основным физико-химическим и охлаждающим свойствам полностью соответствует импортному маслу «*Isorapid 277*».

Результаты измерения твердости показывают, что для стали 40С2 с ростом температуры закалки происходит рост твердости с 51,5±1,5 HRC до 53,9±1,5 HRC при температурах закалки 880 °C и 940 °C, соответственно (рис. 3).

Дальнейший отпуск закаленных образцов (940 °C) привел к снижению твердости. При температуре отпуска 350 °C твердость составила (47,5±0,5) HRC, а при 420 °C – (42,4±0,9) HRC. Такое значитель-

ное снижение твердости может быть обусловлено процессом распада мартенсита и процессом рекристаллизации микроструктуры.

Графические зависимости температура-скорость, температура-время представлены на рис. 1, 2.

Таблица 2

Результаты испытаний по определению характеристик охлаждающей способности закалочных сред

Table 2

Test results for determining the characteristics of the cooling capacity of quenching media

Закалочные среды	Время охлаждения, сек			Скорость охлаждения при 300 °С, °С/с	Максимальная скорость охлаждения, °С/с	Температура при максимальной скорости охлаждения, °С
	до 600 °С	до 400 °С	до 200 °С			
<i>Isorapid 277</i>	6,99	10,48	43,80	5,76	94,27	620,9
Росойл-277	7,37	11,03	45,93	5,75	93,87	605,3
Росойл-52 4 % концентрация	3,27	5,38	9,97	45,08	149,2	704,8
МЗМ-16	10,92	15,11	49,41	5,93	65,43	533,6
Вода	3,72	5,18	7,88	80,84	154,6	558,7

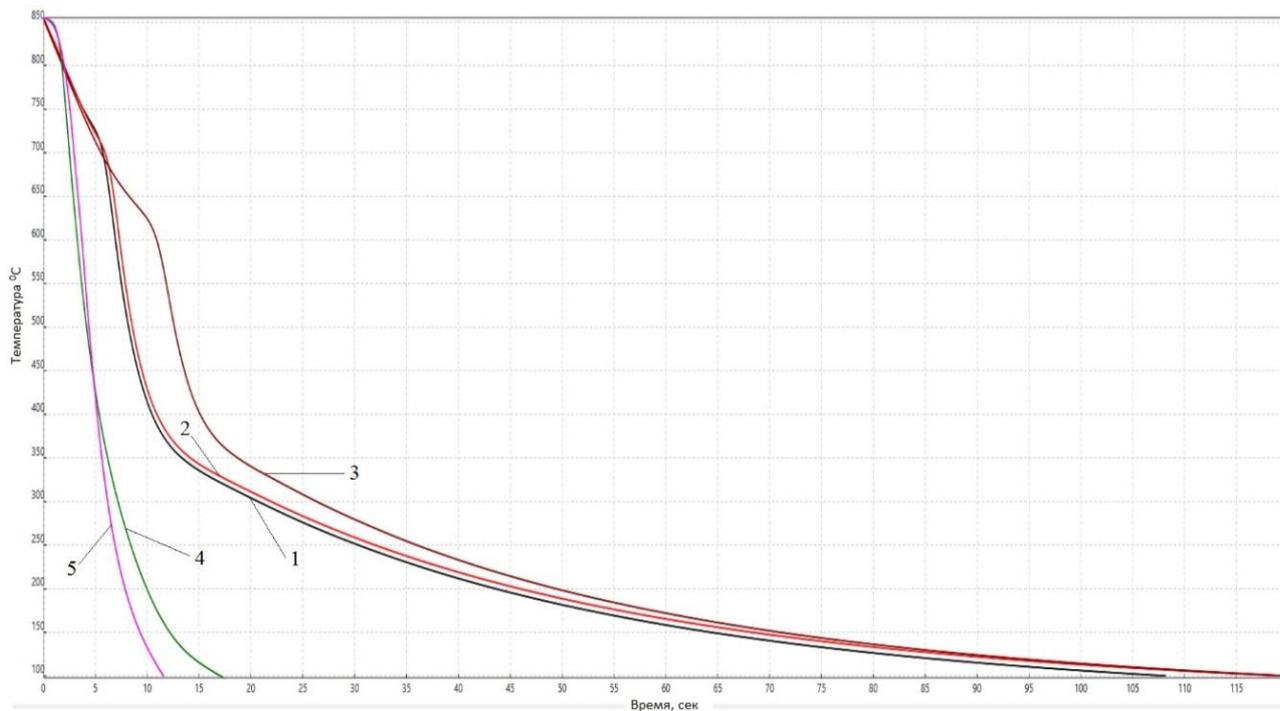


Рис. 1. Скорости охлаждения закалочных сред: 1 – «Isorapid 277»; 2 – «Росойл-277»; 3 – «МЗМ-16»; 4 – «Росойл-52» 4% концентрация; 5 – Вода

Fig. 1. Cooling rates of quenching media: 1 – Isorapid 277, 2 – Rosoil-277, 3 – MZM-16, 4 – Rosoil-52 4% concentration, 5 – Water

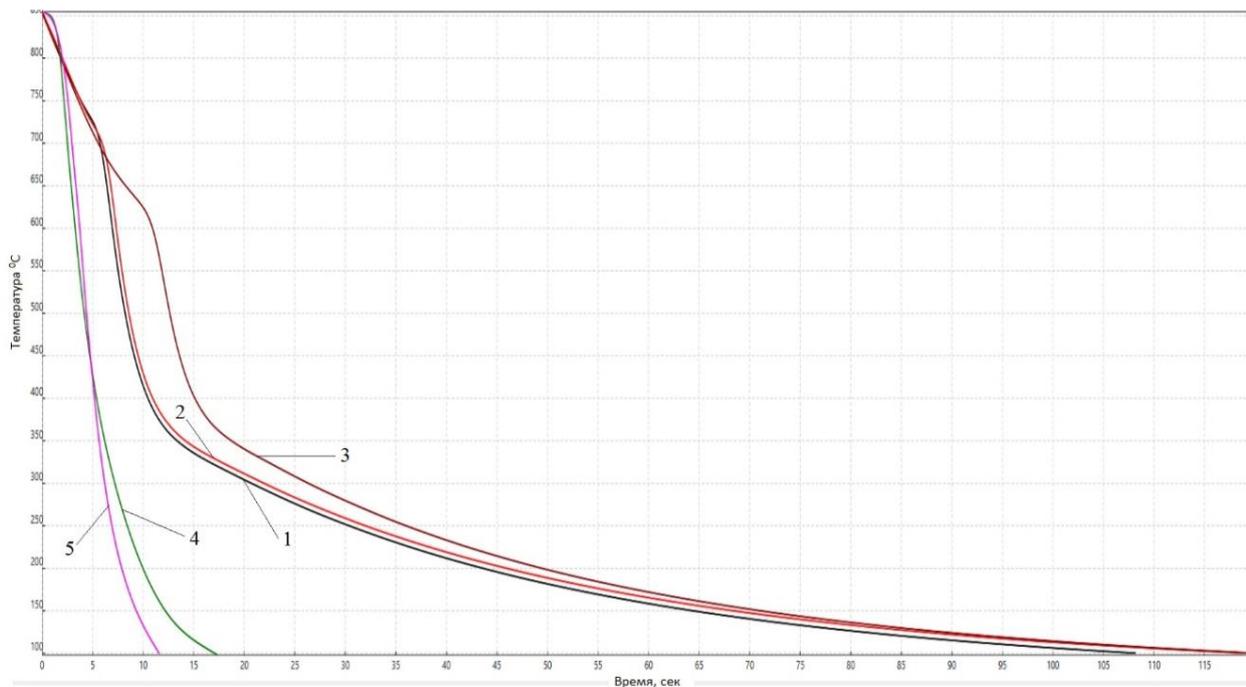


Рис. 2. Зависимости «температура-время» закалочных сред: 1 – «Isorapid 277»; 2 – «Росойл-277»; 3 – «МЗМ-16»; 4 – «Росойл-52» 4 % концентрация; 5 – вода
 Fig. 2. Temperature-time dependencies of quenching media: 1 – Isorapid 277, 2 – Rosoil-277, 3 – MZM-16, 4 – Rosoil-52 – 4% concentration, 5 – Water.

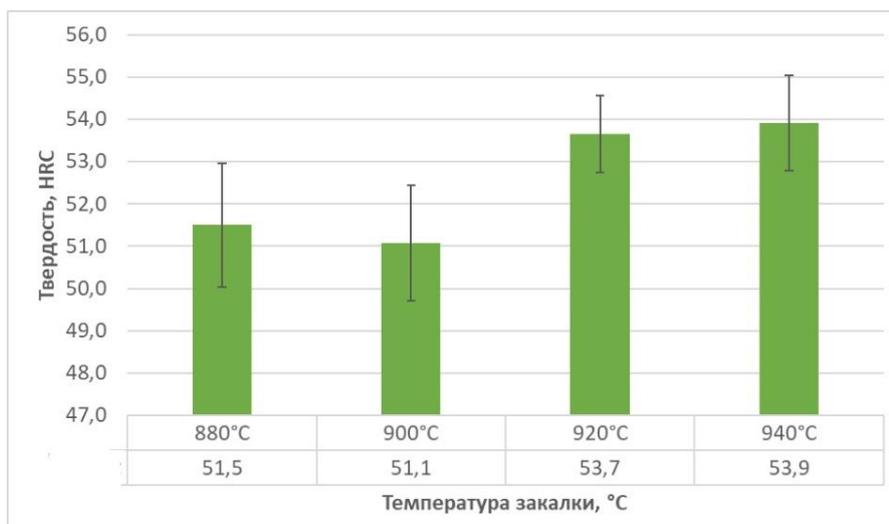


Рис. 3. Зависимость твердости от температуры закалки заготовок из стали 40C2
 Fig. 3. Dependence of hardness on the quenching temperature of 40C2 steel blanks

Для определения влияния температуры закалки на твердость после отпуска, была проведена закалка с 880 °C, после которой твердость составила (51,5±1,5) HRC. Примечательно то, что после закалки с 880 °C и дальнейшего отпуска, твердость повысилась по сравнению с закалкой с 940 °C. Твердость после отпуска при 350 °C составила (48,3±0,7) HRC, при 420°C - (43,7±1,0) HRC (рис. 4).

Данный эффект может быть связан с большей дефектностью кристаллической решетки и большой накопленной энергией после закалки с 940 °C по сравнению с закалкой с 880 °C, о чем свидетельствует разница в твердости между этими состояниями.

Сравнение наибольшего значения твердости, получаемой при закалке в закалочных жидкостях «Росойл-52» и «Росойл-277», показало, что в «Росойл-52» твер-

дость выше, чем у «Росойл-277» и составляет $(53,9 \pm 1,5)$ HRC против $(47,8 \pm 1,3)$ HRC, соответственно (рис. 5).

Данный эффект связан с более высокой скоростью охлаждения стальных заго-

товок при закалке, и дальнейшим формированием структуры мартенсита разной дисперсности.

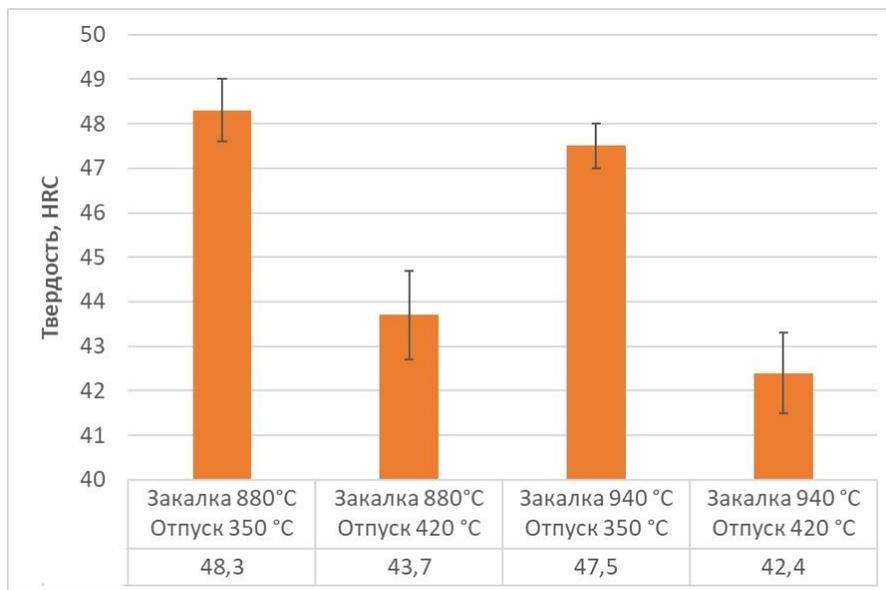


Рис. 4. Результаты измерения твердости стали 40C2 после закалки и отпуска
 Fig. 4. Hardness Measurement Results of 40C2 Steel After Quenching and Tempering

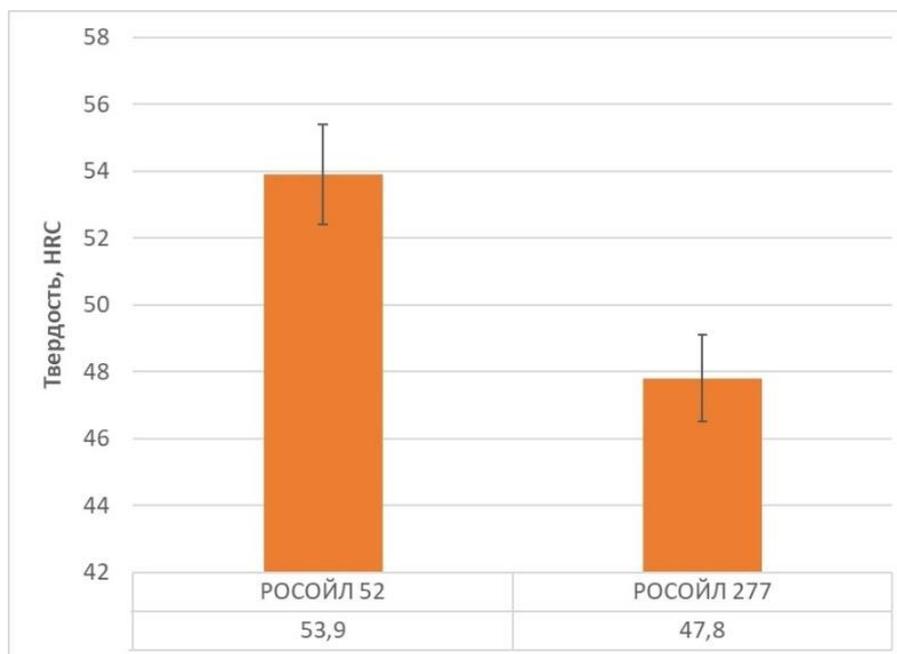


Рис. 5. Зависимость наибольшего значения твердости от типа закалочной среды заготовок из стали 40C2
 Fig. 5. Dependence of the highest hardness value on the type of quenching medium of 40C2 steel blanks

Анализ результатов измерения твердости показал, что отпуск при 350 °C заготовок из стали 40C2, после закалки с

940 °C в закалочных жидкостях «Росойл-52» и «Росойл-277», приводит к снижению твердости образцов. Твердость после от-

пуска при 350 °С после закалки в «Росойл-52» уменьшилась с (52,6±1,1) HRC до (48,3±1,2) HRC. Отпуск заготовок, зака-

ленных в «Росойл-277» привел к снижению твердости с (48,9±0,8) HRC до (45,3±1,0) HRC (рис. 6).

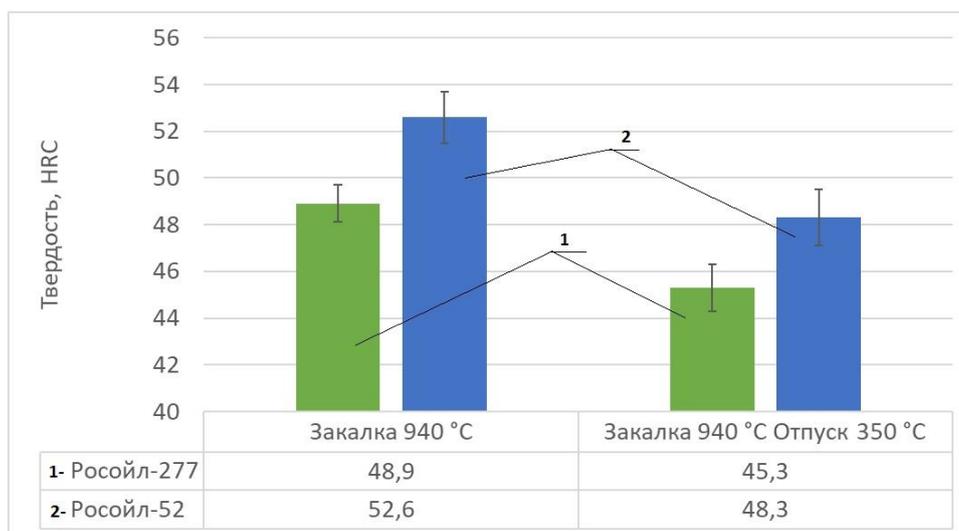


Рис. 6. Зависимость твердости от закалочной среды при разных режимах термической обработки заготовок из стали 40С2

Fig. 6. Dependence of hardness on quenching medium under different modes of heat treatment of 40C2 steel blanks

Выводы

1. Разработано закалочное масло «Росойл-277», которое является аналогом «Isorapid 277». «Росойл-277» по основным физико-химическим и охлаждающим свойствам полностью соответствует импортному маслу.

2. Для процесса закалки рельсовых клемм подобрана водополимерная закалочная жидкость «Росойл-52» (ТУ 20.59.59-112-06377289-2021) [2]. «Росойл-52» 4 % концентрации имеет высокую скорость охлаждения до температуры порядка 600 °С и высокую максимальную скорость охлаждения (149,2 °С/с) что обеспечивает твердость после закалки (940 °С) стали 40С2 – 53,9 HRC. Скорость охлаждения при 300 °С «Росойл-52» 4 % концентрации (45,08 °С/с) в среднем ниже на 44 % по

сравнению с водой. Более медленное охлаждение «Росойл-52» по сравнению с водой, в интервале температур мартенситного превращения, снизит внутренние напряжения и вероятность трещинообразования у закаливаемых деталей.

3. Результаты измерения твердости на заготовках из стали 40С2 показали, что закалка в водополимерной закалочной жидкости «Росойл-52» дает более высокие значения твердости, по сравнению с закалкой в масле «Росойл-277», (53,9±1,5) HRC против (48,9±0,8) HRC, соответственно. Дальнейший отпуск при 350°С привел к аналогичному результату – твердость заготовок, закаленных в «Росойл-52» выше, чем заготовок закаленных в «Росойл-277».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Совершенствование процессов формирования качества прутковой заготовки из стали 40С2 для производства пружинных изделий / И.Ю. Мезин, Г.С. Гун, М.В. Чукин, Л.В. Крамзина // Качество в обработке материалов. – 2015. – № 1 (3). – С. 35–44.

2. Рахштадт, А.Г. Пружинные стали и сплавы / А.Г. Рахштадт. – 3-е изд.; перераб. и доп.– М.: Металлургия, 1982. – 400 с.

3. Разработка и совершенствование технологии производства пружинных клемм / В.В. Кривошапов, С.М. Вершигора, И.Ю. Мезин, В.В. Чу-

кин // Производство проката. – 2000. – № 7. – С. 21–24.

4. Some aspects of launching the production of spring clips for rail fastenings / I.Yu. Mezin, I.G. Gun, A.S. Limarev, I.A. Mikhailovskiy // CIS Iron and Steel Review. – 2016. – Vol. 12. – P. 26–31.
5. Кроха, В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации. Справочник / В.А. Кроха. – М.: Машиностроение, 1980. – 157 с.
6. Майсурадзе М.В., Антаков Е.В., Назарова В.В. Охлаждающая способность современных промышленных полимерных закалочных сред // Сталь. 2021. № 8. С. 50–59.
7. Горюшин В.В., Ковалева С.А., Шевченко С.Ю. Применение охлаждающей среды УЗСП-1 при спрейерной закалке зубчатых колес // Металло-

REFERENCES

1. Mezin IYu, Gun GS, Chukin MV, Kramzina LV. Improving the quality of forming processes bar stock steel production for 40s2 spring products. Kachestvo v Obrabotke Materialov. 2015;1(3):35-44.
2. Rakhstadt AG. Spring steels and alloys. 3rd ed. Moscow: Metallurgiya; 1982.
3. Krivoshchapov VV, Vershigora SM, Mezin IYu, Chukin VV. Development and improvement of technology for the production of spring clips. Proizvodstvo Prokata (Rolled Products Manufacturing). 2000;7:21-24.
4. Mezin IYu, Gun IG, Limarev AS, Mikhailovskiy IA. Some aspects of launching the production of spring clips for rail fastenings. CIS Iron and Steel Review. 2016;12:26–31.
5. Krokha VA. Hardening of metals during cold plastic deformation: handbook. Moscow: Mashinostroenie; 1980.

Информация об авторах:

Тюленев Денис Генрихович – заведующий триботехнической лаборатории ООО «ХТЦ УАИ», тел. +7(964)964-57-85.

Шолом Владимир Юрьевич – доктор технических наук, доцент, генеральный директор ООО «ХТЦ УАИ», член Межведомственного научного совета по трибологии Российской академии наук, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и Союза научных и инженерных объединений, тел. +7(347)272-47-88.

Tyulenev Denis Genrikhovich – Head of the Tribotechnology Laboratory of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute; phone: +7(964)964-57-85.

Sholom Vladimir Yuryevich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director General of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute, Member of the Interdepartmental Scientific Council on Tribology of the Russian Academy of Sciences, Ministry of Science and Higher Education of the Rus-

сian Federation and the Union of Scientific and Engineering Associations; phone: +7(347)272-47-88.

8. Шолом В. Ю., Абрамов А. Н., Казаков А. М., Шолом А. В., Иванов В. В. Установка для определения охлаждающих характеристик технологических сред. / Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2014. – № 5. – С. 30-33.
9. 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.

6. Maisuradze MV, Antakov EV, Nazarova VV. Cooling capacity of modern industrial polymer quenching media. Stal. 2021;8:50-59.
7. Goryushin VV, Kovaleva SA, Shevchenko SYu. Application of УЗСП-1 cooling medium for spray hardening of gears. Metallo-vedenie I Termicheskaya Obrabotka Metallov. 2007;6:33-36.
8. Sholom VYu, Abramov AN, Kazakov AM, Sholom AV, Ivanov VV. Installation for determining the cooling characteristics of technological media. Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure. 2014;5:30–33.
9. Sholom AV, Polyakov AB, Tyuleev DG, Ivanov VV, Volkova EB. Patent of the Russian Federation No. 2699698. Installation for determining the cooling capacity of a technological medium. 2019 Sep 09.

Абрамов Алексей Николаевич – доктор технических наук, зам. ген. директора ООО «ХТЦ УАИ», член Межведомственного научного совета по трибологии Российской академии наук, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и Союза научных и инженерных объединений, тел.+7(937)360-63-55.

Пузырьков Дмитрий Федорович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ООО «ХТЦ УАИ», тел. +7(347)272-47-88.

Abramov Aleksey Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Deputy Director General of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute, Member of the Interdepartmental Scientific Council on Tribology of the Russian Academy of Sciences, the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the Union of Scientific and Engineering Associations; phone: +7(937)360-63-55.

Dmitry Fedorovich Puzrykov – Candidate of Technical Sciences, leading scientific employee of LLC «ХТЦ УАИ», tel. +7(347)272-47-88.

Puzyrkov Dmitry Fedorovich – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Self-supporting

Creative Center of Ufa Aviation Institute; phone: +7(347)272-47-88.

**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 14.12.2023; одобрена после рецензирования 20.12.2023; принята к публикации 27.12.2023. Рецензент – Агеев Е.В., доктор технических наук, профессор Юго-Западного государственного университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 14.12.2023; approved after review on 20.12.2023; accepted for publication on 27.12.2023. The reviewer is E.V. Ageev, Doctor of Technical Sciences, Professor of Southwest State University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.