

Д. Г. Тюленев<sup>1</sup>, А.Н. Абрамов<sup>1</sup>, Т.И. Гильманов<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>«Хозрасчётный творческий центр Уфимского авиационного института»,  
г. Уфа, Россия, zavlab@rosoil.ru  
<sup>2</sup>Уфимский Университет Науки и Технологий, г.Уфа, Россия

## РАЗРАБОТКА НОВОГО ОТЕЧЕСТВЕННОГО ЗАКАЛОЧНОГО МАСЛА ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ УПРУГИХ КЛЕММ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

### Аннотация

В работе представлены результаты лабораторных испытаний и внедрения нового отечественного закалочного масла «Росойл-277», разработанного в качестве аналога импортного масла «Isorapid 277» («PETROFER» Германия), применяемого при закалке упругих клемм для рельсовых скреплений. Влияние охлаждающих свойств закалочных масел на твердость и структуру проводили при термообработке стали 38Si7, применяемой для изготовления упругих клемм. Охлаждающие свойства закалочных масел оценивали с помощью установки по определению охлаждающих характеристик технологических и закалочных сред УЗС-2 производства ООО «Хозрасчётный творческий центр Уфимского авиационного института». Опытно-промышленные испытания проводились в условиях ООО «Триэс» на оборудовании AICHELIN 5/2-90/85/150 при закалке упругих клемм из стали 38Si7.

*Ключевые слова:* закалка, закалочное масло, термообработка, охлаждающие характеристики, твердость, микроструктура.

### Введение

Структуру и свойства сталей можно изменять в широких пределах с помощью термической обработки (закалки, отпуска, нормализации и др.), т.е. управлять свойствами и их оптимизировать согласно будущим эксплуатационным требованиям. Важнейшими параметрами режима термической обработки являются температура и скорость нагрева, точность температурного поля, длительность выдержки при заданной температуре и скорость охлаждения стали.

Как правило, целью закалки конструкционных и инструментальных сталей является повышение прочности, твердости и износостойкости за счет получения 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, закалочные масла, водополимерные закалочные жидкости. Масла обеспечивают более медленное охлаждение по сравнению с водой, что снижает деформации, напряжения и риск образования трещин. Они характеризуются более мягким режимом охлаждения, что важно для закалки легированных сталей [1].

К высокоскоростным железнодорожным магистралям предъявляются повышенные требования к надежности рельсового скрепления, элементом которого является упругая клемма. Производство упругой 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 [2-6]. По существующей технологии упругие клеммы изготавливаются из стали 38Si7, которая обладает оптимальным соотношением прочности, упругости и пластичности после термообработки.

В настоящей работе приведены результаты лабораторных сравнительных испытаний и внедрения отечественного закалочного масла «Росойл-277» взамен импортного аналога «Isorapid 277» («PETROFER» Германия) при закалке упругих клемм из стали 38Si7.

### Материалы и методы исследования

Испытания по определению охлаждающих характеристик закалочных жидкостей проводились на установке «УЗС-2» для определения охлаждающих характеристик технологических и закалочных сред (рис. 1).



Рисунок 1 - Внешний вид установки УЗС-2

Установка предназначена для определения охлаждающих характеристик различных сред, таких как водные растворы полимеров, солей, закалочных масел, смазочно-охлаждающих жидкостей и других жидкостей, применяемых машиностроении и металлургии. Установка позволяет проводить испытания по следующим международным стандартам ISO 9950, ASTM D6200 - 01 и ASTM D6482 - 06 [8, 9].

Для исследований твердости и микроструктуры использованы заготовки из стали 38Si7 следующего химического состава, %: 0,36 С – 0,007 S – 0,004 P – 0,64 Mn – 1,60 Si – 0,09 Cu – 0,07 Sn – 0,21 Cr – 0,07 Ni – 0,02 Mo – 0,017 Al – 0,004 Ti – 0,001 V. Исходные заготовки диаметром 15 мм и длиной 20 мм.

Исследование микроструктуры проводили с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6490LV.

Твердость определяли на твердомере ТК-14-250.

### Результаты и обсуждение

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

Таблица 1 - Физико-химические свойства закалочных масел

Показатель	Isorapid 277	Росойл-277	Метод испытания
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	26	26	ГОСТ 33
Температура вспышки в открытом тигле, °С	195	196	ГОСТ 4333

Построение кривых охлаждения исследуемых закалочных сред на установке для определения охлаждающих характеристик технологических и закалочных сред. Температура закалочных масел 60 °С.

Значения характеристик охлаждающей способности закалочных масел (время охлаждения до 600 °С, 400 °С, 200 °С, скорость охлаждения при 300 °С, максимальная скорость охлаждения, температура при максимальной скорости охлаждения) представлены в таблице 2 (средние значения). Для сравнения испытывали серийные закалочные масла «МЗМ-16», «Rosneft Termoil OE 16».

Таблица 2 - Результаты испытаний по определению характеристик охлаждающей способности закалочных сред на установке УЗС-2

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			
Isorapid 277	6,95	10,5	43,6	5,83	93,2	614,6
Росойл-277	7,03	10,3	39,3	7,84	94,2	615,8
МЗМ-16	10,9	15,1	49,4	5,9	65,4	533,6
Rosneft Termoil OE 16	12,1	17,2	53,1	6,0	55,6	534,2

Графические зависимости “температура-скорость охлаждения” представлены на рисунке 2.

Из результатов испытаний следует отметить, что максимальные скорости охлаждения закалочных масел «Isorapid 277» и «Росойл-277» значительно выше по сравнению с маслами «МЗМ-16», «Rosneft Termoil OE 16» на 44 % и 69 % соответственно. Это говорит, что масла «Isorapid 277» и «Росойл-277» обладают более высокой закалывающей способностью. Масла «Isorapid 277» и «Росойл-277» имеют более высокие температуры при максимальной скорости охлаждения (615 °С) по сравнению с маслами «МЗМ-16», «Rosneft Termoil OE 16» (534 °С).

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

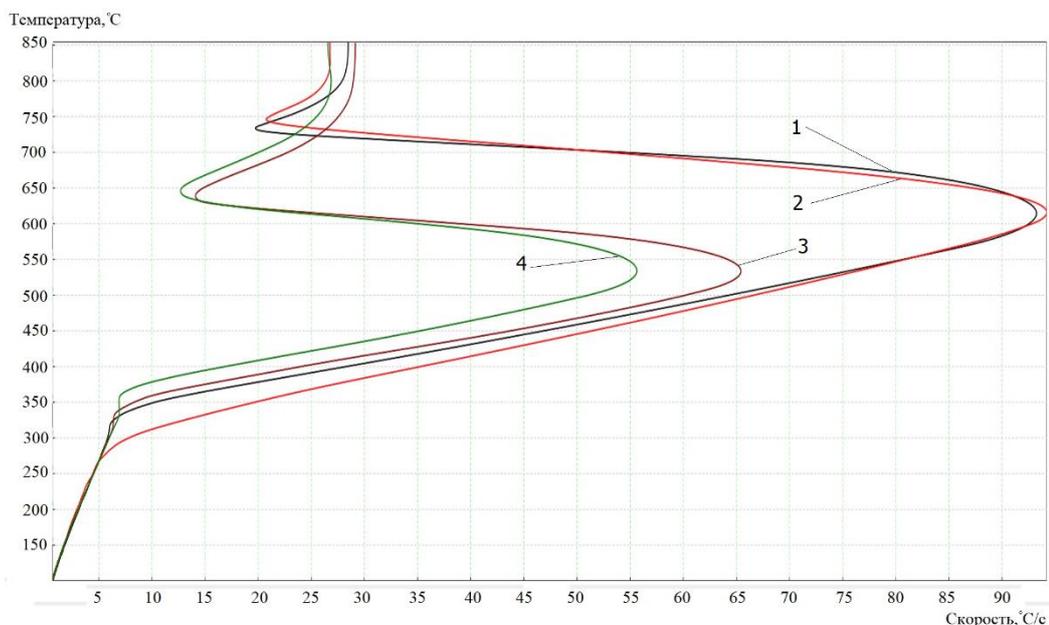


Рисунок 2 - Скорости охлаждения закалочных масел: 1 - «Isorapid 277», 2 - «Росойл-277», 3 - «МЗМ-16», 4 - «Rosneft Termoil OE 16»

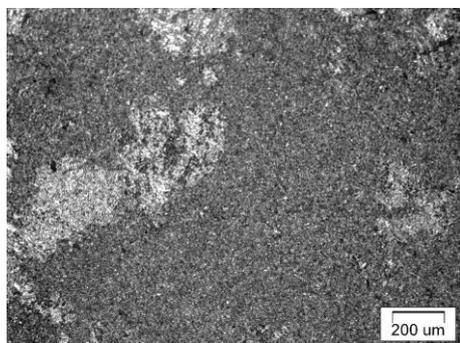
Термообработку заготовок в маслах проводили при следующих режимах:

- предварительный подогрев заготовок при температуре 400 °C в течение 30 минут;

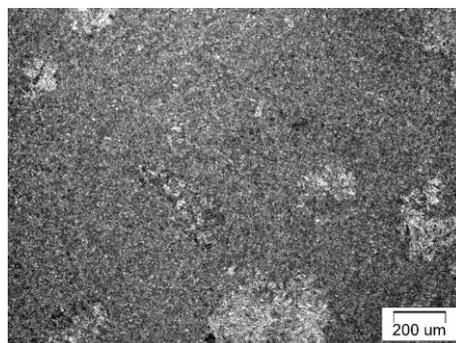
- закалочный нагрев при температуре 940 °C в течение 35 минут;

- охлаждение заготовок в закалочном масле.

Микроструктурные исследования стали 38Si7 после закалки в закалочное масло «Isorapid 277» представлена на рисунках 6 и 7.

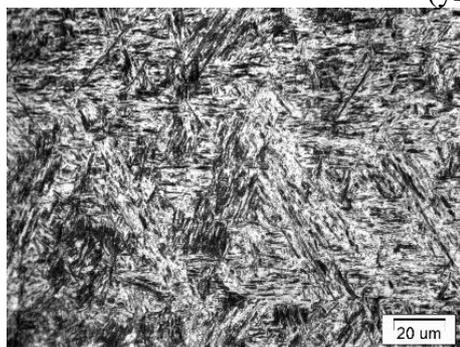


а)

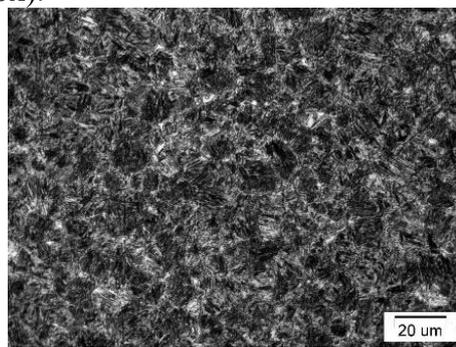


б)

Рисунок 6 - Микроструктура стали 38Si7 после закалки в закалочную жидкость «Isorapid 277»: а - между краем и центром заготовки (увеличение 10x); б - в центре заготовки (увеличение 10x).



а)



б)

Рисунок 7 - Микроструктура стали 38Si7 после закалки в Isorapid 277: а - светлая область (увеличение 100x); б - темная область (увеличение 100x).

Исследование заготовок после закалки в закалочное масло «Isorapid 277» показало, что существует неоднородность микроструктуры. При небольшом увеличении видны две структурные составляющие – светлая и темная (рис.6). Исследование при большем увеличении показало, что как светлая, так и темная области по морфологии соответствуют мартенситу (рис.7). Причем, светлые области имеют более крупные пластины мартенсита, что косвенно указывает на процесс аномального роста зерен. В темной области обнаруживается высокодисперсный мартенсит с небольшой долей остаточного феррита ( $\approx 0,4\%$ ).

Микроструктуры образцов из стали 38Si7 после закалки в масло «Росойл-277» показаны на рисунках 8 и 9.

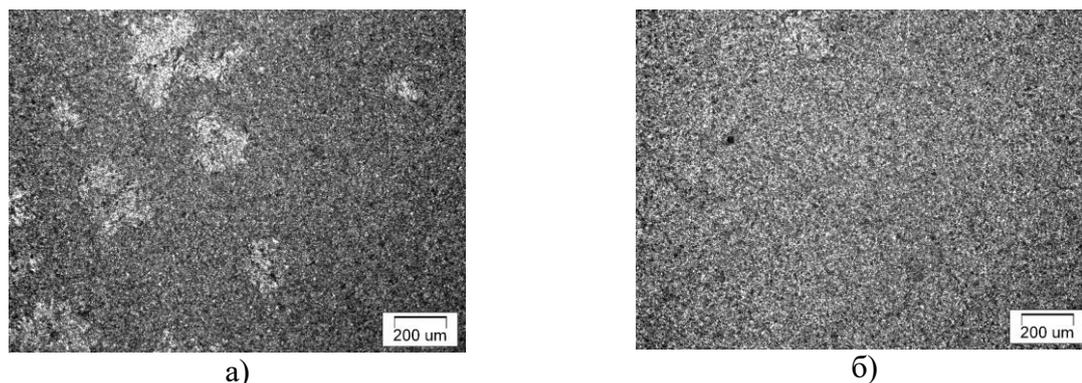


Рисунок 8 - Микроструктура стали 38Si7 после закалки в закалочное масло «Росойл-277»: а - между центром и краем заготовки (увеличение 10х); б - в центре заготовки (увеличение 10х)

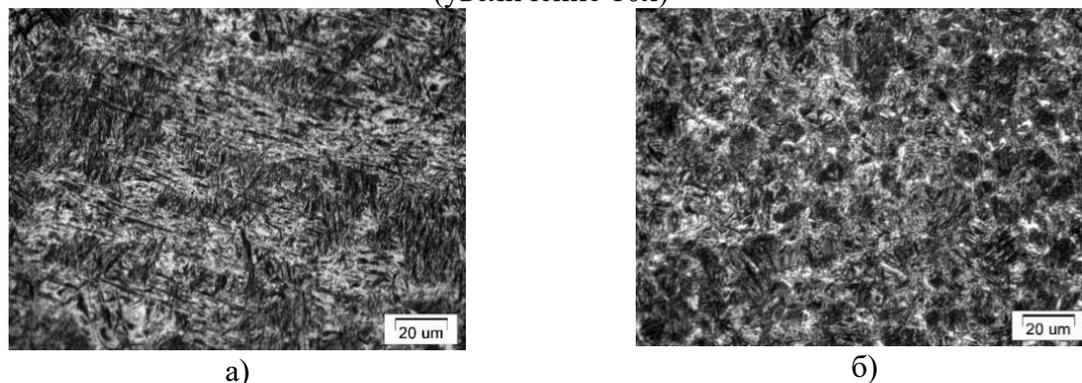


Рисунок 9 - Микроструктура стали 38Si7 после закалки в «Росойл-277»: а - светлая область (увеличение 100х); б - темная область (увеличение 100х).

После закалки в «Росойл-277» наблюдается такая же неоднородность микроструктуры, как в «Isorapid 277». Есть светлые и темные области, присутствует и остаточный феррит ( $\approx 1,1\%$ ), что не превышает допустимый предел 2%.

Твердость в центре заготовок из стали 38Si7 после закалки как в закалочное масло «Isorapid 277», так и в разработанное закалочное масло «Росойл-277» составляет  $53,2 \pm 1,3$  HRC, а между центром и краем  $54,6 \pm 1,0$  HRC, что соответствует требованиям, предъявляемым к упругим клеммам для рельсовых креплений.

Промышленные испытания проводились в условиях ООО «Триэс» на оборудовании AICHELIN 5/2-90/85/150 при закалке упругих клемм из стали 38Si7. Для проведения промышленных испытаний было поставлено 19,4 тонн закалочного масла «Росойл-277». В процессе промышленных испытаний оценивались твердость, микроструктура и физико-механические свойства изделий. В процессе промышленных испытаний было установлено, что масло закалочное «Росойл-277» соответствует требованиям технологического процесса термообработки упругих

клемм из стали 38SI7 и позволяет заменить на операции закалки масло закалочное «Isorapid 277». В настоящее время организована поставка масла закалочного «Росойл-277» на ООО «Триэс» в необходимых объемах.

### **Заключение**

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

Исследования микроструктуры и твердости после закалки в масло «Росойл-277» и в импортное масло «Isorapid 277», показали аналогичные результаты.

Опытно-промышленные испытания показали, что масло закалочное «Росойл-277» соответствует требованиям технологического процесса термообработки упругих клемм для рельсовых креплений из стали 38SI7 и позволяет заменить на операции закалки масло закалочное «Isorapid 277».

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. В.М. Зуев. Термическая обработка металлов: 5-е издание, стереотипное – М.: Высшая школа; 2001. 288 с.
2. 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.
3. Рахштадт, А.Г. Пружинные стали и сплавы / А.Г. Рахштадт. – 3-е изд.; перераб. и доп.– М.: Металлургия, 1982. – 400 с.
4. Разработка и совершенствование технологии производства пружинных клемм / В.В. Кривошапов, С.М. Вершигора, И.Ю. Мезин, В.В. Чукин // Производство проката. – 2000. – № 7. – С. 21–24.
5. 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.
6. Кроха, В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации. Справочник / В.А. Кроха. – М.: Машиностроение, 1980. – 157 с.
7. Горюшин В.В., Ковалева С.А., Шевченко С.Ю. Применение охлаждающей среды УЗСП-1 при спрейерной закалке зубчатых колес // Металловедение и термическая обработка металлов. 2007. № 6. С. 33-36.
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.
10. Влияние охлаждающих свойств закалочных жидкостей и режимов термообработки на твердость стали 40С2/ Тюленев Д.Г., Шолом В.Ю., Абрамов А.Н., Пузырьков Д.Ф.//Транспортное машиностроение. 2024.№1(25).С.4-12.
11. Горюшин В.В. О применении синтетических закалочных сред в промышленности // МиТОМ. 1991. N2 4. С. 10–14.
12. ISO 9950:1995(E). Industrial quenching oils Determination of cooling characteristics - Nickel-alloy probe test method. – Geneve: International Organization for Standardization, 1995. – 9 p.
13. Новиков И.И. Переходные режимы теплообмена при кипении жидкости // Теплофизика высоких температур, 1996. Т. 34. выпуск №1. С. 162 – 164.

14. Кобаско.Н. И.. Закалочные среды. Металловедение и термическая обработка.Т. 23, под ред. Л. А. Петровой. – М., 1989.

D.G. Tyulenev<sup>1</sup>, A.N.; Abramov<sup>1</sup>;

T.I. Gilmanov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute, Ufa, Russia, rosoil@rosoil.ru

<sup>2</sup>Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

## **DEVELOPMENT OF A NEW DOMESTIC QUENCHING OIL FOR HEAT TREATMENT OF ELASTIC TERMINALS OF RAIL FASTENERS**

### **Abstract.**

The paper presents the results of laboratory studies and the introduction of domestic hardening oil Rosoil-277 are presented. The effect of the cooling properties and temperature of quenching oils and heat treatment modes on hardness was carried out during heat treatment of 38Si7 steel used for the manufacture of rail fasteners. The cooling properties of quenching oils were evaluated using an installation for determining the cooling characteristics of technological and quenching media UZS-2 manufactured by LLC Self-supporting Creative Center of the Ufa Aviation Institute. Pilot industrial tests were carried out in the conditions of LLC Tries using AICHELIN 5/2-90/85/150 equipment for quenching rail terminals made of 38SI7 steel.

*Keywords:* quenching, quenching oil, heat treatment, cooling characteristics, hardness, microstructure.