

УДК 621.78.084

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ РЕЛЬСОВОЙ НАКЛАДКИ

Захарченко М.В.¹, аспирант кафедры «Теплофизика и информатика
в металлургии» (vniimt1@yandex.ru)

Жилияков А.Ю.¹, ведущий инженер кафедры «Термообработка и физика металлов»

Липунов Ю.И.², к.т.н., директор центра новых систем охлаждения и термоупрочнения металла

Эйсмонт К.Ю.², к.т.н., заместитель директора центра новых систем
охлаждения и термоупрочнения металла

Ярошенко Ю.Г.¹, д.т.н., профессор кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии»

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина
(620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19)

² ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники»
(620137, Россия, Екатеринбург, ул. Студенческая, 16)

Аннотация. Рельсовая накладка представляет собой изделие несимметричного профиля с элементами разной массы – шейка, верхняя и нижняя головки. Нормативные документы предъявляют строгие требования к механическим свойствам и прямолинейности готовых накладок. С использованием оптического и растрового электронного микроскопов исследована микроструктура накладки после прокатки (без термообработки), после термоупрочнения по традиционной технологии – закалке в баке с маслом, а также полученной по технологии ускоренного водяного охлаждения, впервые реализованной для такого рода изделий. В результате установлено, что высокая степень дисперсности фаз и малый размер зерна наилучшим образом обеспечивают получение стабильных механических свойств, что характерно для технологии ускоренного водяного охлаждения. Прямолинейность готовых изделий в данном случае достигается благодаря управляемости процессом охлаждения.

Ключевые слова: термоупрочнение, устройство водяного ускоренного охлаждения, закалка, рельсовая накладка, микроструктура, спрейерные установки, термическое упрочнение проката.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-9-682-687

Рельсовая накладка представляет собой изделие несимметричного профиля с элементами разной массы – шейка, верхняя и нижняя головки. Это изделие устанавливается как на соединении рельсов встык, так и на бесстыковом пути, в том числе для ремонта

рельсового полотна [1]. На рис. 1, а приведено стандартное соединение рельсов встык. Плотное прилегание накладки к элементам головки и подошвы рельса (рис. 1, б) обеспечивает надежную фиксацию стыка, по этой причине прямолинейность готовых

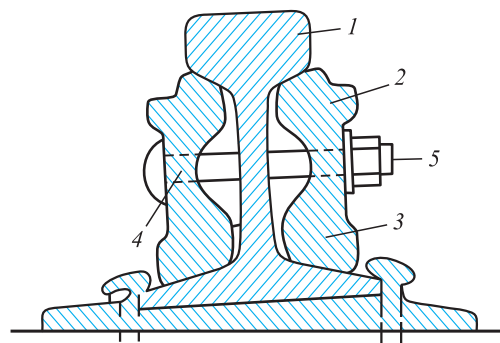


Рис. 1. Стандартный рельсовый стык с накладками Р65:

а – общий вид; б – вид в разрезе; 1 – головка рельса; 2 – верхняя головка рельсовой накладки; 3 – нижняя головка рельсовой накладки; 4 – шейка накладки; 5 – стыковой болт

Fig. 1. The standard rail splice with R65 joint bar connections:

а – general view; б – cross-section view; 1 – rail head; 2 – the joint bar's upper bulbous head; 3 – the joint bar's lower bulbous head; 4 – the joint bar's web; 5 – fishplate bolt

накладок – одно из строгих требований нормативных документов [2].

Для обеспечения требуемых механических свойств накладки подвергают обязательной термообработке либо в баке с маслом [2], либо струями воды* [3, 4], что приводит к изменению микроструктуры и механических характеристик. Действующая нормативная документация [2] не устанавливает требований к микроструктуре накладок. Между тем хорошо известно, что механические свойства изделия определяются получающейся в процессе термоупрочнения микроструктурой. Однако в литературе отсутствуют данные о влиянии режима термообработки накладок на их микроструктуру.

По традиционной технологии объемной закалки в масле накладки после пресса горячей прошивки с температурой около 810 °С поступают на конвейер подачи в масляный бак, температура в котором поддерживается в пределах 60 – 70 °С. В масле накладка охлаждается в течение около 5 мин, затем поступает в моечный бак, далее в правильный пресс для обеспечения прямолинейности и укладывается на стеллаж готовой продукции. Процесс охлаждения профиля накладки был воспроизведен с помощью математической модели [4]. На рис. 2 приведены результаты расчета по охлаждению различных точек накладки во времени. Из анализа этих данных следует, что середины верхней и нижней головок, а также шейка накладки охлаждаются с различными скоростями вследствие разной термиче-

ской массивности: шейка остывает быстрее, а головки являются источниками тепла, разогревая ее. Существующий способ объемной закалки накладок в масляной ванне не учитывает различий в термической массивности ее элементов, по этой причине неизбежно проводят операцию правки накладок в прессе.

Микроструктура накладок до и после объемной закалки в масле исследована с помощью оптического микроскопа (рис. 3). Она представлена пластинчатым перлитом и ферритом, ориентированным по границам зерен, балл зерна равен 4 – 5 [5], что эквивалентно 88 – 62 мкм.

Микроструктура объемно-закаленных в масле накладок, полученная с применением растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6490LV в режиме вторичных электронов, приведена на рис. 4. Условия закалки при этом были следующими: объем бака V_M составлял 3 м³, температура масла в нем – в среднем 20 °С. Температура накладки после прокатки, при которой накладка поступала на термообработку, находилась в пределах $t_{нар} = 810 – 820$ °С. Полученная структура представляет собой пластинчатый перлит с ферритом по границе зерна. Она отличается от представленной на рис. 3 неравномерной величиной зерен – от 40 до 70 мкм [5] и более плотной перлитной структурой.

По технологии ускоренного водяного охлаждения накладка, нагретая до температуры около 850 – 870 °С, последовательно проходит завесу из плоских водяных факелов, установленных с четырех сторон и покрываю-

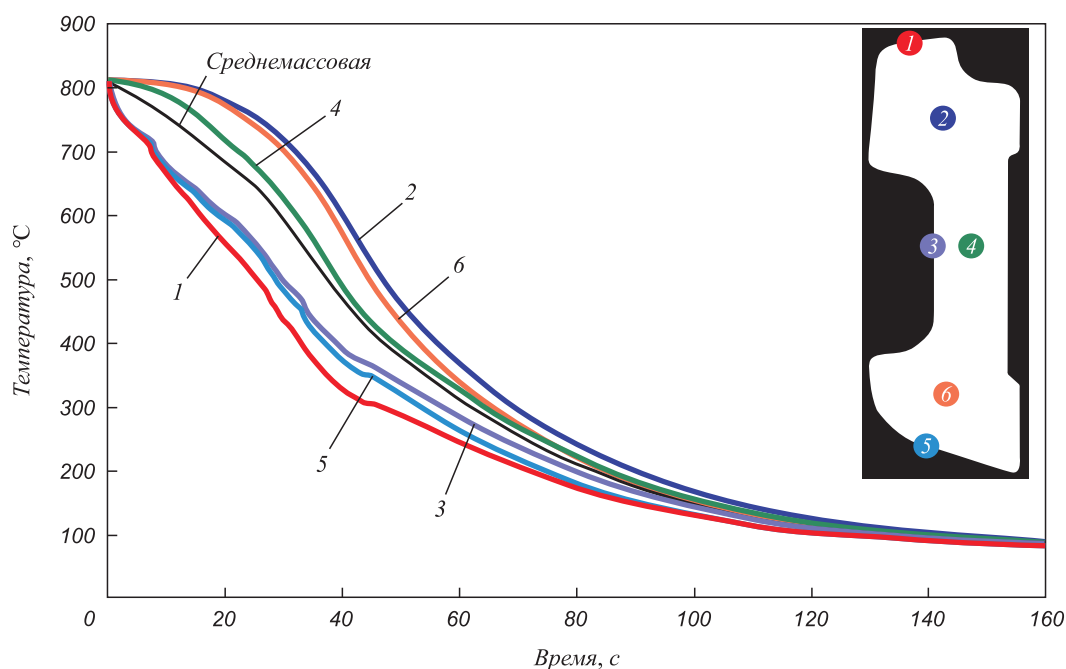


Рис. 2. Расчетное изменение температуры в точках накладки во времени при охлаждении в масле (номер кривой соответствует номеру расчетной точки)

Fig. 2. Numerical changes of the temperature at fishplate points during the oil quenching process (the curve number is in accordance with the numerical number)

* В работе принимали участие Э.В. Абрамов, Т.П. Пургина, Е.В. Некрасова

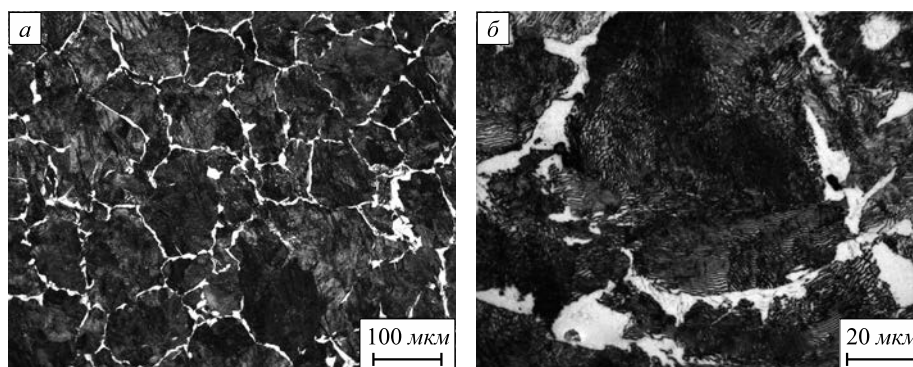


Рис. 3. Микроструктура рельсовой накладки 0,53 % С после горячей прокатки:
а – $\times 200$; б – $\times 1000$

Fig. 3. The microstructure of the joint bar 0.53 % C before thermohardening
а – $\times 200$; б – $\times 1000$

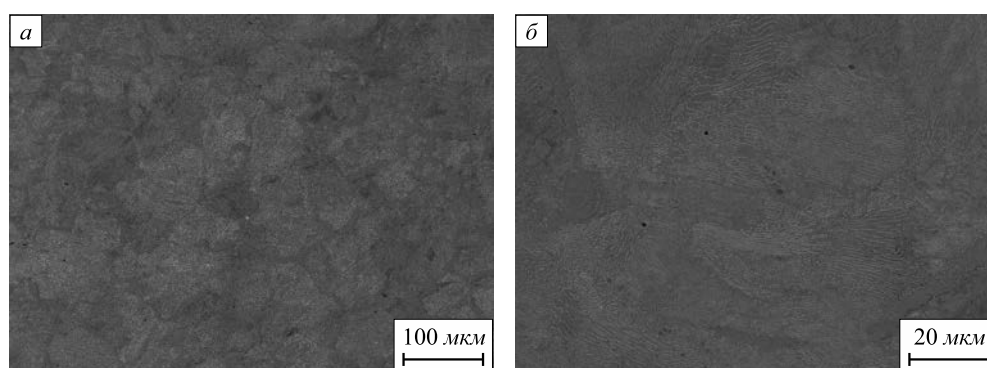


Рис. 4. Микроструктура верхней головки образца 0,57 % С после охлаждения в объеме масла:
а – $\times 200$; б – $\times 1000$

Fig. 4. The microstructure of the joint bar' upper bulbous head 0.57 % C after oil quenching:
а – $\times 200$; б – $\times 1000$

щих всю ее поверхность [3]. Существенным преимуществом такой технологии является возможность регулирования скорости охлаждения изменением плотности орошения ($\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$) верхней, нижней и боковых поверхностей накладки. Это преимущество позволяет получать структуру металла, которая способна обеспечить стабильные значения механических свойств накладок, что недостижимо при объемной закалке изделий [4]. На рис. 5 приведено расчетное изменение температуры накладки по сечению при охлаждении в двух секциях устройства с учетом фактического времени ее охлаждения и плотностей орошения в устройстве. На рис. 5 также представлены средние значения температуры верхней головки, шейки и нижней головки, измеренные пирометром после выхода накладки из промышленного устройства.

Микроструктура рельсовой накладки после термоупрочнения в экспериментальном устройстве по режиму, представленному на рис. 5, отражена на рис. 6. Середина верхней головки состоит из пластинчатого перлита и феррита по границе зерен, размер которых около 10 – 15 мкм, а приповерхностный слой представ-

ляет собой дисперсный сорбит отпуска. На рис. 7 показаны структуры накладки после охлаждения в промышленном устройстве. По рис. 7, б можно оценить размер зерна в 30 мкм, при этом структурные составляющие идентичны тем, которые представлены на рис. 6.

Таким образом, технология ускоренного водяного охлаждения рельсовых накладок обеспечивает более высокую степень дисперсности структуры и меньший размер зерна в сравнении с технологией объемной закалки в масле.

Гибкая с точки зрения управляемости технология ускоренного водяного охлаждения рельсовых накладок внедрена на Нижнесалдинском металлургическом заводе (НСМЗ). В процессе пуско-наладочных работ были установлены режимы работы устройства, на которых в зависимости от химического состава стали обеспечиваются требуемые механические свойства. В таблице представлены сведения о механических свойствах накладок различных плавок, термоупрочненных в промышленном устройстве ускоренного охлаждения, и требования технических условий ТУ 14-2Р-463-2011 [6], специально разработанных на основе ГОСТ 4133-73 [2].

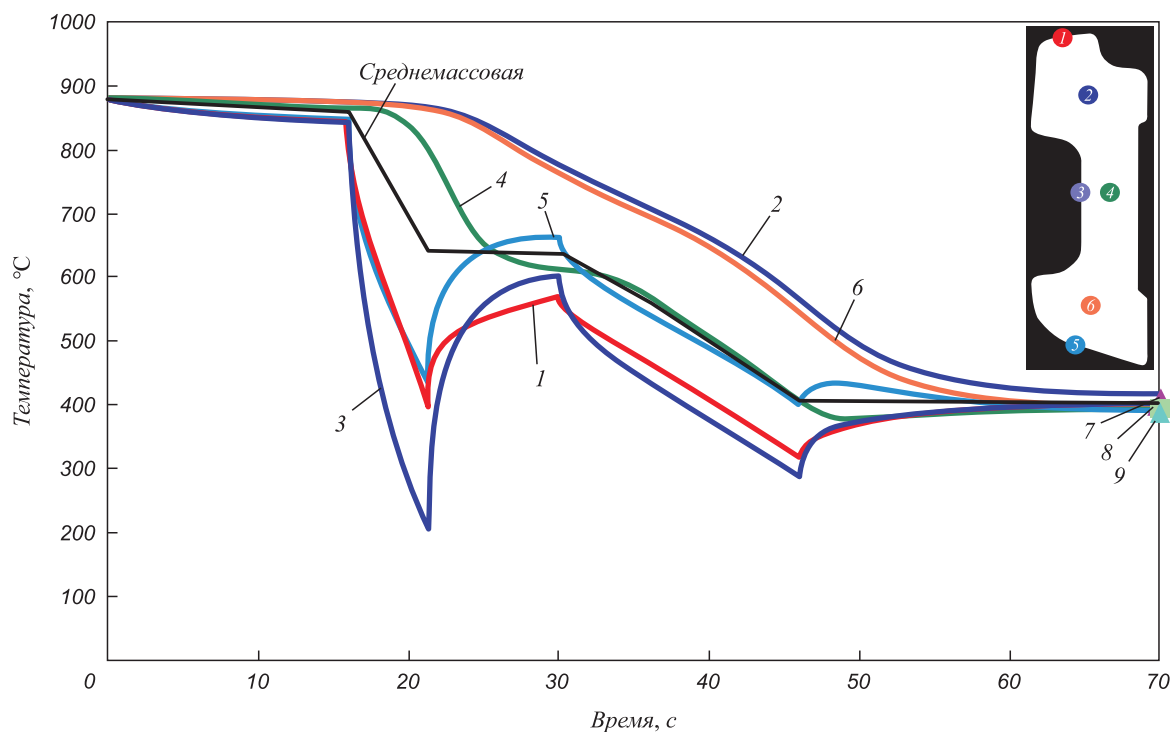


Рис. 5. Расчетное изменение температуры различных точек рельсовой накладки во времени при охлаждении водой: 1 – 6 – номер кривой, соответствующий номеру расчетной точки; 7 – 9 – среднее значение температуры верхней головки, шейки и нижней головки соответственно

Fig. 5. Numerical changes of the temperature at fishplate numerical points during the process of accelerated water cooling: 1 – 6 – curve number in accordance with numerical point; 7 – 9 – the average temperature of the joint bar' upper bulbous head, web, lower bulbous head accordingly

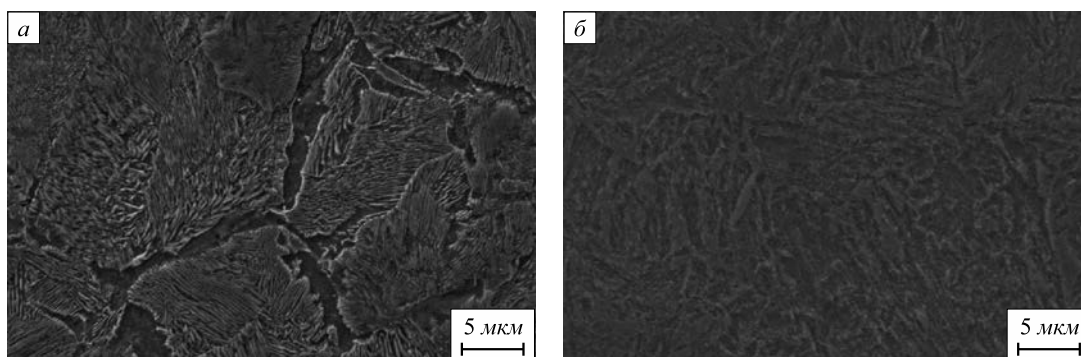


Рис. 6. Микроструктура после термоупрочнения по технологии ускоренного водяного охлаждения в экспериментальном устройстве ВНИИМТ:
а – середина верхней головки рельсовой накладки; б – на расстоянии 500 мкм от кромки верхней головки рельсовой накладки. Содержание углерода 0,53 %, $\times 3000$

Fig. 6. The microstructure of the joint bar' upper bulbous head after accelerated water cooling process at experimental unit of OJSC "VNIIMT":
а – the middle part of upper bulbous head; б – at a distance of 500 μm from the upper edge of the head. Carbon content – 0.53 %, $\times 3000$

При закалке в масле не удается получить стабильных механических свойств. В работе [7] показано, что для накладок, закаленных в масле, разброс значений относительного сужения при одинаковых значениях предела прочности довольно широк – от 14 – 28 % до 30 – 48 %.

Выводы. С использованием оптического и растрового электронного микроскопов исследована микро-

структура накладки после прокатки при охлаждении на воздухе (без термообработки), после закалки в баке с маслом, а также полученной по технологии водяного ускоренного охлаждения. Вид структуры при струйном водяном охлаждении принципиально не отличается от структуры, полученной после закалки в масле, и представляет собой перлит с ферритной сеткой по границе. Основное отличие состоит в степени дисперсности фаз

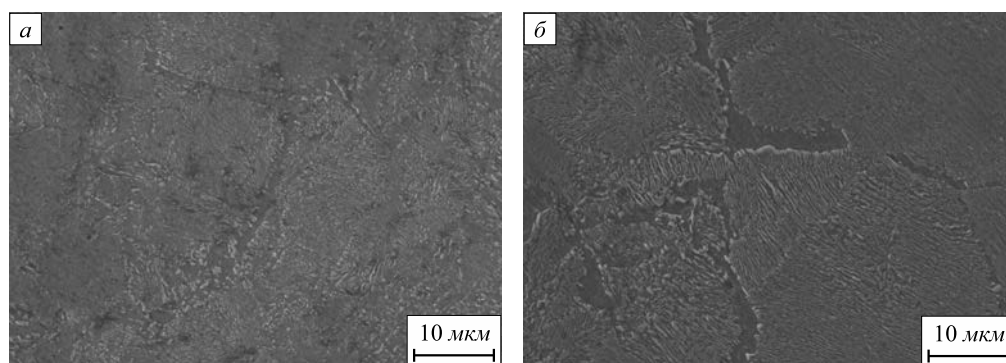


Рис. 7. Микроструктура образцов верхней головки накладки после охлаждения в промышленном устройстве закалки рельсовых накладок НСМЗ:

a – на расстоянии 500 мкм от края; *б* – середина верхней головки. Содержание углерода 0,57 %

Fig. 7. The microstructure of the joint bar's upper bulbous head after accelerated water cooling process at Niznesaldinskii metallurgical plant: *a* – at a distance of 500 μm from the upper edge of the head; *б* – the middle part of upper bulbous head. Carbon content – 0.57 %

Таблица 1

Механические свойства термоупрочненных накладок по технологии ускоренного охлаждения на Нижнесалдинском металлургическом заводе

Table 1. Mechanical properties of R65 type thermostrengthened joint bar in accelerated cooling device at Niznesaldinskii metallurgical plant

Металл производства	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	НВ
Нижнетагильский металлургический комбинат, C = 0,485 %	855 – 923	570 – 620	12 – 16	31 – 44	241 – 269
Новокузнецкий металлургический комбинат, C = 0,560 – 0,570 %	850 – 912	530 – 555	13 – 19	31 – 41	241 – 321
Требования ТУ 14-2Р-463-2011, не менее	844	530	10	30	235 – 388

и размере зерен, что и обуславливает получение стабильных механических свойств на различных режимах работы устройства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов П.С., Даньков С.Ф., Юзык О.В., Шишмаев А.А. Новые ресурсосберегающие технологии в рельсовом хозяйстве // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 7. С. 23 – 25.
2. ГОСТ 4133-73. Накладки рельсовые двухголовые для железных дорог широкой колеи. Технические требования. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. – 7 с.
3. Yaroshenko Y.G., Lipunov Y.I., M.V. Startseva M.V. et al. Developing a modern thermal strengthening technique for regulated fishp-

- late cooling // Energy Production and Management in the 21st Century. The Quest for Sustainable Energy. 2014. Vol. 1. P. 491 – 501.
4. Захарченко М.В. Разработка и внедрение устройства и технологии ускоренного охлаждения для обеспечения механических свойств металла рельсовых накладок: Дис. ...канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2014. – 136 с.
5. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 38 с.
6. ТУ 14-2Р-463-2011. Производство накладок двухголовых для железнодорожных рельсов типов Р50 и Р65. 2011. – 10 с.
7. Отработка технологии термоупрочнения рельсовых накладок на опытном стенде ОАО «ВНИИМТ»: Отчет о НИР. – Екатеринбург: ОАО «ВНИИМТ», 2012. С. 45 – 47.

Поступила 10 апреля 2015 г.

INFLUENCE OF THE QUENCHING TECHNOLOGIES ON THE JOINT BAR MICROSTRUCTURE

*Zakharchenko M.V.*¹, Postgraduate of the Chair “Metal Science and Heat Treatment” (vniimt1@yandex.ru)

*Zhilyakov A.Yu.*¹, Senior Engineer of the Chair of Physics and Heat Treatment of Metals

*Lipunov Yu.I.*², Cand. Sci. (Eng.), Director of the Center of Modern Cooling Systems and Thermohardening Metals Technologies

*Eismond K.Yu.*², Cand. Sci. (Eng.), Deputy Director of the Center of Modern Cooling Systems and Thermohardening Metals Technologies

*Yaroshenko Yu.G.*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Metal Science and Heat Treatment”

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (19, Mira str., Ekaterinburg, 620002, Russia)

² OJSC Research Institute of Metallurgical Heat Engineering (VNIIMT) (16, Studencheskaya str., Ekaterinburg, 620137, Russia)

Abstract. Joint bar (fishplate) is an asymmetrical cross-section product with different mass elements – the web, the upper and lower bulbous heads. Technical standards specify the strict requirements on the joint bar mechanical properties and straightness. The microstructure after rolling (without heat treatment), after thermostrengthening according to the traditional technology – oil quenching, and accelerated water cooling technology has been studied by using optical and scanning electron microscope. The accelerated water cooling technology was the first implemented in industry for asymmetrical cross-section body. As a result, it was found that a high degree dispersion of the phases and the small grain size provided the best results in stable mechanical properties, which is typical for the sprayer system. The joint bar straightness is achieved in response to the cooling process controllability.

Keywords: thermostrengthening, accelerated water cooling device, quenching, joint bar (fishplate), sprayer system, rolled metal thermo strengthening, microstructure.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-9-682-687

REFERENCES

1. Ivanov P.S., Dan'kov S.F., Yuzyk O.V., Shishmaev A.A. New resource-saving technologies in the rail sector. *Put' i putevoe khozyaistvo*. 2011, no. 7, pp. 23–25. (In Russ.).
2. GOST 4133-73. *Nakladki rel'sovye dvukhgolovye dlya zheleznykh dorog shirokoi kolei. Tekhnicheskie trebovaniya* [State standard 4133-73. Two-headed rail pads for broad gauge railways. Technical requirements]. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov, 1998. 7 p. (In Russ.).
3. Yaroshenko Y.G., Lipunov Y.I., Startseva M.V. etc. Developing a modern thermal strengthening technique for regulated fishplate cooling. *Energy Production and Management in the 21st Century. The Quest for Sustainable Energy*. 2014. Vol. 1, pp. 491–501.
4. Zakharchenko M.V. *Razrabotka i vnedrenie ustroystva i tekhnologii uskorennoogo okhlazhdeniya dlya obespecheniya mekhanicheskikh svoystv metalla rel'sovykh nakladok»: dis. ...kand. tekhn. nauk* [Development and implementation of equipment and technology of rapid cooling to ensure the mechanical properties of the metal of rail lining. Cand. Tech. Sci. Diss.]. Ekaterinburg, 2014. 136 p. (In Russ.).
5. GOST 5639-82. *Stali i splavy. Metody vyyavleniya i opredeleniya velichiny zerna* [State standard 5639-82. Metals and alloys. Methods for detection and determination of the grain size]. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov, 2003. 38 p. (In Russ.).
6. TU 14-2R-463-2011. *Proizvodstvo nakladok dvukhgolovykh dlya zheleznodorozhnykh rel'sov tipov R50 i R65* [Production of linings for the two-headed rails of R50 and R65 types]. 2011. 10 p. (In Russ.).
7. *Otrabotka tekhnologii termouprochneniya rel'sovykh nakladok na opytnom stende OAO «VNIIMT»: otchet o NIR* [Testing technology thermostrengthening of rail pads on the test stand of OJSC "VNIIMT": report on research]. Ekaterinburg : OAO "VNIIMT", 2012, pp. 45–47. (In Russ.).

Acknowledgements. The work was performed with the participation of Abramov E.V., Purgina T.P., Nekrasov E.V.

Received April 10, 2015