

РАЗРАБОТКА НОВОГО СПОСОБА ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ярошенко Ю.Г.¹, д.т.н., профессор кафедры теплофизики и информатики в металлургии

Липунов Ю.И.², к.т.н., директор Центра термоупрочнения

Захарченко М.В.¹, аспирант кафедры теплофизики и информатики в металлургии (vniimt1@yandex.ru)

Эйсмонт К.Ю.², к.т.н., заместитель директора Центра термоупрочнения

Некрасова Е.В.², к.т.н., старший научный сотрудник Центра термоупрочнения

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

(620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 28)

² ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники – ОАО «ВНИИМТ»

(620137, Россия, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 16)

Аннотация. Охлаждение в объеме масла тел сложной формы с разномассивными элементами является пожароопасным, дорогостоящим и неуправляемым процессом с точки зрения отвода тепла от разномассивных элементов. Одним из таких изделий несимметричной конфигурации, для которых применяется такой вид термической обработки, является рельсовая накладка. В ОАО «ВНИИМТ» впервые предложена экологичная технология, а также разработано устройство водяного регулируемого охлаждения рельсовых накладок. Благодаря использованию воды в качестве охлаждающего агента полностью исключается образование вредных выбросов в атмосферу, отсутствует необходимость в постоянных затратах на покупку масла, его замену и утилизацию. Стендовые эксперименты на опытно-промышленном агрегате определили условия получения уровня механических свойств накладок, удовлетворяющие требованиям нормативной документации. Прямолинейность готового изделия обеспечивается отдельной подачей воды на каждый коллектор каждой секции устройства. Представленные результаты стендовых экспериментов послужили основой выбора режимов работы промышленного устройства при освоении рассматриваемой технологии в условиях производства, которая может с успехом заменить традиционную – закалку в объеме масла.

Ключевые слова: рельсовая накладка, регулируемое водяное охлаждение, термическое упрочнение проката, спрейерные установки, экологичность процесса термической обработки.

Разработка и внедрение новых технологий в металлургии направлены на снижение энергопотребления и ресурсоемкости в процессе их реализации. При этом добиваются, как правило, роста производительности агрегатов с улучшением качества продукта при одновременном снижении техногенного давления на окружающую природную среду и улучшении условий труда.

Согласно ГОСТ 4133 – 73 [1] рельсовые накладки Р65 подвергают объемной закалке в масле, что является неуправляемым, неэкологичным и дорогостоящим процессом. Эта технология требует не только сложного сопутствующего оборудования, но и установок по утилизации отработанного масла. Следует также отметить, что работа персонала происходит в тяжелых условиях.

В Центре новых систем охлаждения и технологий термического упрочнения ОАО «ВНИИМТ» была разработана, исследована и предложена более совершенная в экологическом отношении технология спрейерного охлаждения рельсовой накладки водой и оборудование для ее реализации, изучение всех особенностей которой было осуществлено на экспериментальном стенде ОАО «ВНИИМТ», основываясь на результатах математического моделирования процесса охлаждения рельсовой накладки [2 – 4]. Конструктив-

но опытно-промышленное устройство (рис. 1) состояло из двух секций. В каждой из них четыре горизонтально расположенных коллектора с форсунками специальной конструкции обеспечивали подачу плоско-факельных потоков воды к накладке.

Исследованию была подвергнута накладочная полоса производства ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», химический состав которой приведен ниже:

Элемент	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
Содержание, %	0,530	0,220	0,810	0,017	0,015	0,090	0,100	0,210

Поскольку накладка является несимметричным телом сложной формы, то параметры верхних, нижних и боковых форсунок были подобраны таким образом, чтобы вода полностью покрывала соответствующие поверхности накладки. Кроме того, отдельным регулированием расхода воды на каждый коллектор обеспечивалась дифференциация расходов в зависимости от термической массивности элементов (шейки и головки). Это гарантировало соблюдение требований ГОСТ [1] к прямолинейности и ее механическим свойствам.

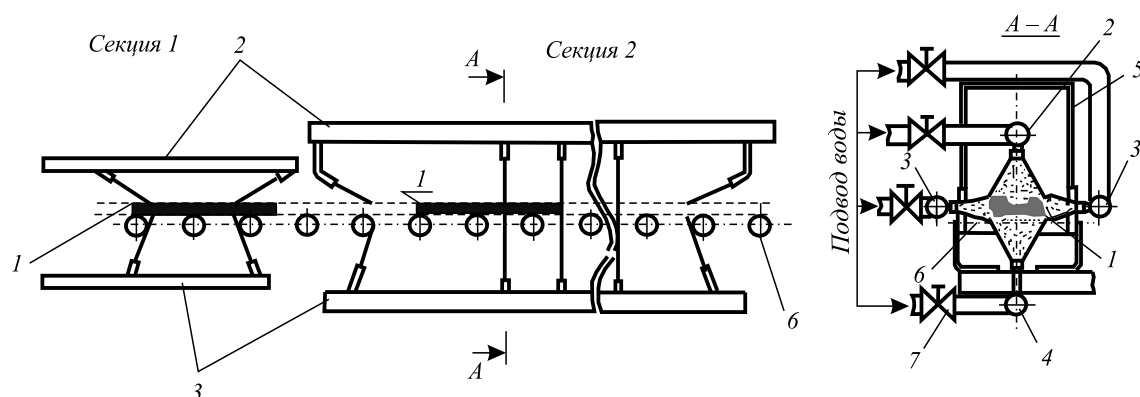


Рис. 1. Схема устройства регулируемого охлаждения рельсовых накладок:
1 – рельсовая накладка; 2 – 4 – верхний, боковые, нижний подводящие коллекторы; 5 – защитный кожух; 6 – ролики; 7 – вентиль

Fig. 1. Scheme of controlled cooling device for joint bar thermostrengthening:
1 – joint bar (fishplate); 2 – 4 – top, side and bottom pipelines with the nozzles; 5 – protection hood; 6 – rollers; 7 – faucet

Накладку нагревали до температуры 880 – 890 °С, затем охлаждали последовательным прохождением через систему плоских водяных факелов (рис. 1, разрез А – А). В процессе экспериментов температуру поверхности контролировали с регистрацией в режиме online на измерительном комплексе комбинированным способом: по показаниям термопар, заделанных по линии 2 (рис. 2), непрерывно в процессе нагрева, охлаждения и выдержки на воздухе. Температуру металла до входа в устройство определяли пирометром спектрального отношения по линии 2 (рис. 2). После выхода из устройства и выдержки на воздухе для выравнивания температуры по сечению проводили измерения температуры по длине накладки пирометром частичного излучения в местах 1 и 3 (рис. 2). Указанные точки были выбраны с учетом того, что именно с этих элементов наиболее близко к поверхности производится отбор проб на механические испытания и холодный изгиб. В процессе экспериментов расход воды был подобран таким образом, что разница температуры в точках 1 и 3 на поверхности обеих головок составила не более 20 °С. С целью контроля кривизны накладок и подбора оптимального соотношения расходов верх/низ, право/лево измеряли отклонение от прямолинейности каждого образца до и

после опыта в соответствии с положениями ГОСТ [1].

Механические свойства, соответствующие требованиям ГОСТ, определяются динамикой процесса охлаждения во времени, также температурой конца охлаждения. В качестве параметра регулирования последней была выбрана скорость прохождения накладки через устройство. Температуру конца охлаждения варьировали в пределах 250 – 450 °С. Из нескольких накладок были изготовлены образцы по ГОСТ 1497 – 84 [5] типа III исполнения 4 для проведения механических испытаний, результаты которых представлены в таблице.

Механические свойства накладок, термоупрочненных способом водяного регулируемого охлаждения, имеют уровень механических свойств, соответствующий установленному ГОСТ. Для разных температур конца охлаждения накладки были получены сведения о механических свойствах, что позволило найти зависимость механических свойств от температуры (рис. 3), по которому можно определить диапазон температур конца охлаждения, в котором обеспечиваются механические свойства: для металла с указанным химическим составом температура окончания охлаждения должна находиться в пределах 350 – 450 °С.

Поскольку диапазон содержания углерода согласно требованиям ГОСТ довольно широк (0,45 – 0,62 %), то при обработке металла с другим содержанием углерода потребуется корректировка температуры конца охлаждения, что осуществляется регулированием скорости прохождения накладки через устройство. Для реализации такого способа в промышленных условиях в испытательном центре ОАО «ГНЦ РФ «Уральский институт металлов» Ставан-Тест были разработаны, согласованы и утверждены в установленном порядке технические условия ТУ 14-2Р-463 – 2011 «Производство накладок двухголовых для железнодорожных рельсов типов Р50 и Р65».

ГОСТом 4133 – 73 требования к микроструктуре не регламентированы, но с целью исключения вероятнос-

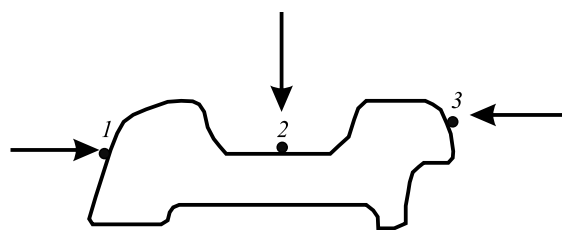


Рис. 2. Профиль рельсовой накладки Р65:
1 – 3 – линии измерения температуры по длине нижней головки, шейки, верхней головки соответственно

Fig. 2. The shape of R65 type joint bar:
1 – 3 – the temperature distribution along the length of lower bulbous head, web and upper bulbous head accordingly

Механические свойства рельсовых накладок

Термическая обработка	Механические свойства					Твердость, НВ в пределах
	Предел прочности, Н/мм ²	Предел текучести, Н/мм ²	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Угол холодного загиба, °	
Согласно требованиям ГОСТа 4133 – 73, не менее	844	530	10,0	30,0	20	235 ÷ 388
По экспериментальному способу ОАО «ВНИИМТ»	893 ÷ 1012	570 ÷ 694	10,4 ÷ 17,4	41,6 ÷ 49,3	46 ÷ 106	285 ÷ 363

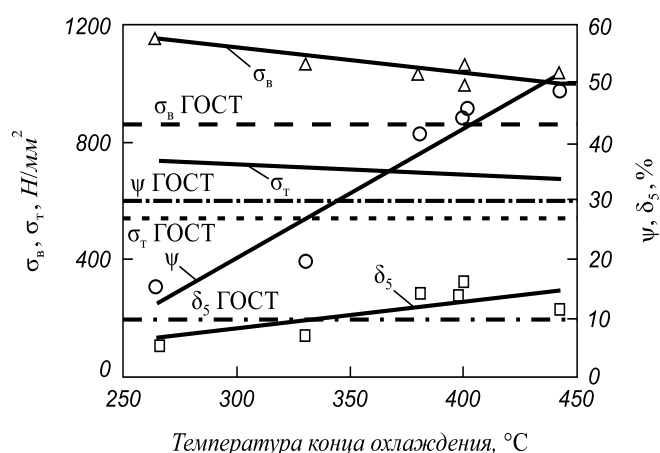


Рис. 3. Зависимость прочностных и пластических свойств рельсовой накладки Р65 от температуры конца охлаждения

Fig. 3. The dependence of mechanical properties of R65 type joint bar from the cooling temperature at the end of the process

ти образования мартенсита, так как эта фаза может обуславливать значительные внутренние остаточные напряжения, была исследована микроструктура накладок до и после термического упрочнения с помощью оптического микроскопа (рис. 4, а, б) и растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6490LV (рис. 4, в, г).

Структура накладки, которая не подвергалась термической обработке (рис. 4, а), состоит из пластинчатого перлита и феррита, ориентированного по границам зерна, балл зерна 4 – 5 согласно ГОСТ 5639 – 82 [6]. Микроструктура после термической обработки (рис. 4, б) представляет собой плотный сорбитообразный перлит с выраженной ферритной сеткой по границе зерна, балл зерна 7 – 8 соответствует ГОСТ 5639 – 82 [6].

В структуре середины образца также наблюдается пластинчатый перлит и феррит по границе зерна, размер зерна около 10 – 15 мкм, в приповерхностном слое

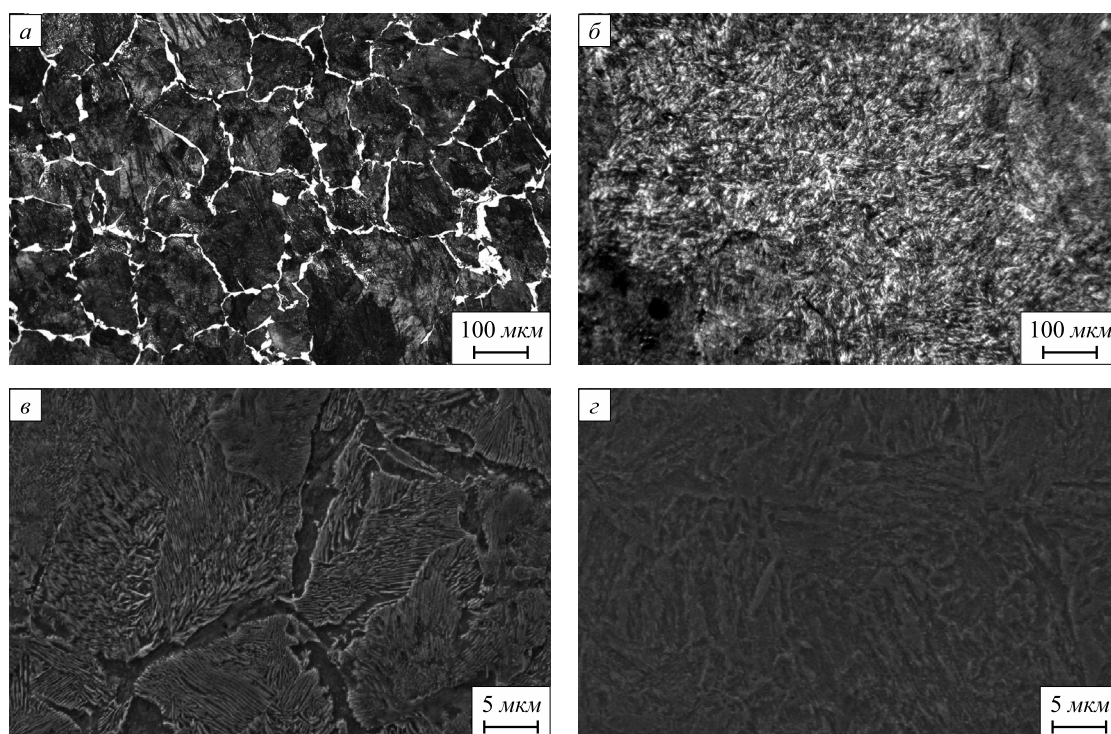


Рис. 4. Микроструктуры нижней головке рельсовой накладки до (а) и после (б) термического упрочнения, середины верхней головке рельсовой накладки (в) и на расстоянии 500 мкм от кромки верхней головки (г)

Fig. 4. The microstructure of the joint bar' lower bulbous head before (а) and after thermotreatment (б), the joint bar' middle part of upper bulbous head (в) and at a distance of 500 μm from the upper edge of the head (г)

структура представляет собой дисперсный сорбит отпуса.

Для более полной и точной идентификации структурных составляющих был также проведен рентгенофазовый анализ на аппарате Emruean в Гонконгском университете науки и технологии¹. Анализ был проведен для середины и кромки всех частей (верхней, нижней головки, шейки) накладок; все рентгенограммы имеют идентичное строение. На рис. 5 приведена рентгенограмма, полученная для центральной части шейки. Узкие и высокие дифракционные пики соответствуют ферриту (α -Fe), имеющему соответствующую плоскость (hkl) [7, 8]. Известно, что отражения с близкими межплоскостными расстояниями d_{hkl} могут накладываться друг друга [9], но фаза мартенсита имеет отличное расстояние d_{hkl} от пиков, соответствующих ферриту, поэтому можно не сомневаться в его отсутствии.

Выводы. Стеновые эксперименты показали, что использование струйного водяного охлаждения обеспечивает требования к механическим свойствам и к прямолинейности накладок. Выбранные режимные и конструктивные параметры устройства позволяют получить равномерное распределение температуры для разномассивных элементов как по сечению, так и по длине. Технология имеет безусловные преимущества перед объемной закалкой в масле благодаря высокоэкологичному управляемому процессу с использованием возобновляемого источника охлаждающей среды, улучшает условия труда, так как исключается пожароопасность и воздействие паров масла на персонал. Снижается также себестоимость продукции, так как исключаются затраты на приобретение и утилизацию масла. Результаты исследования были использованы при внедрении рассмотренной технологии на участке производства рельсовых накладок ООО «НСМЗ» (г. Нижняя Салда, Свердловская обл.). Струйное водяное охлаждение рельсовой накладки водой обеспечивает надежную работу всего оборудования и требования действующих нормативных документов к качеству накладок.

¹ Работа выполнена при содействии профессора Tong-Y F. Zhang.

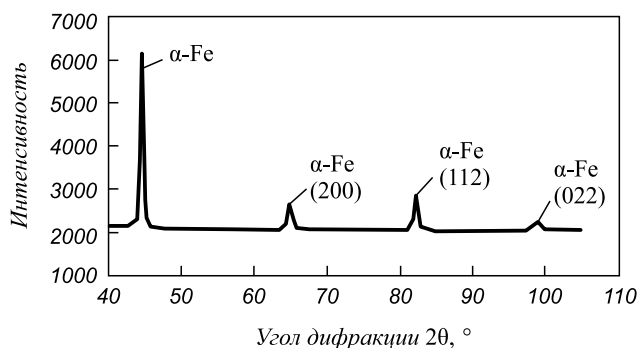


Рис. 5. Рентгенограмма середины шейки рельсовой накладки

Fig. 5. The X-ray diffraction pattern of middle part of the R65 joint bar web

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 4133 – 73. Накладки рельсовые двухголовые для железных дорог широкой колеи. Технические требования. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. – 7 с.
- Yaroshenko Y.G., Lipunov Y.I., Startseva M.V., Eysmond K.Y., Nekrasova E.V., Trayanov G.G. 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.
- Липунов Ю.И., Эйсмонт К.Ю., Ярошенко Ю.Г., Старцева М.В., Некрасова Е.В. Термоупрочнение рельсовой накладки струйным водяным охлаждением // Сталь. 2014. № 8. С. 88 – 91.
- Харченко О.В., Иванов В.И. Математична модель процесу прискореного охолодження сортового прокату / Праці XVII міжнародної конференції «Теплотехніка та енергетика в металургії», НМетАУ, м. Дніпропетровськ, Україна. 7 – 8 жовтня 2014 р., Дніпропетровськ: НМетАУ, 2014. – 202 с.
- ГОСТ 1497 – 84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. – М.: Стандартинформ, 2005. – 24 с.
- ГОСТ 5639 – 82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 38 с.
- Недома И. Расшифровка рентгенограмм порошков. – М.: Металлургия, 1975. С. 424.
- Alphabetical Indexes (Inorganic Phases) sets-44. The International Centre for Diffraction Data. 2011.
- Кузнецова Г.А. Качественный рентгенофазовый анализ (методические указания). – Иркутск: изд. Иркутского гос. ун-та, 2005. С. 28.

Поступила 7 февраля 2014 г.

DEVELOPMENT OF ADVANCED THERMOSTRENGTHENING TECHNIQUE FOR ENVIRONMENTAL PROBLEM SOLUTION IN METALLURGICAL INDUSTRY

Yaroshenko Yu.G.¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Thermophysics and informatics in metallurgy”

Lipunov Yu.I.², Cand. Sci. (Eng.), Director of the Center of thermostrengthening

Zakharchenko M.V.¹, Postgraduate of the Chair “Thermophysics and informatics in metallurgy” (vniimt1@yandex.ru)

Eysmond K.Yu.², Cand. Sci. (Eng.), Deputy Director of the Centre of thermostrengthening

Nekrasova E.V.², Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the Centre of thermostrengthening

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (28, Mira str., Ekaterinburg, 620002, Russia)

² OJSC Scientific-Research Institute of Metallurgical Heat Engineering – OJSC «VNIIMT» (16, Studencheskaya str., Ekaterinburg, 620137, Russia)

Abstract. Oil quenching of complex bodies with asymmetric elements is a fire hazardous, high-cost and out-of-control process. Joint bar is one of complex bodies with asymmetric configuration. This type of heat treatment is applicable for it to meet the Technical requirements. Ecologically friendly technique and water regulated cooling device of joint bar have been developed by OJSC «VNIIMT». Due to using water as a coolant polluting emissions into the atmosphere has been completely eliminated, so there is no need of oil purchase, its replacement and disposal. Test-bench experiments at the pilot-production set resulted in obtaining the requirement level of mechanical properties in accordance with the Technical requirements. Joint bar linearity has been provided by water separate supply for each section of the pipeline. The presented results have given occasion to acquisition of controlled cooling device process conditions. The proposed technique can replace successfully a conventional one – oil quenching.

Keywords: joint bar, regulated water cooling, thermostrengthening of rolled metal, sprayer system, ecological friendly process of thermal treatment.

REFERENCES

1. GOST 4133 – 73. *Nakladki rel'sovye dvukhголовые для железных дорог широкой колеи. Технические требования* [State Standard 4133 – 73. Joint two-headed bars for rail roads of broad gage. Technical requirements]. Moscow: IPK Izd-vo standartov, 1998. 7 p. (In Russ.).
2. Yaroshenko Y.G., Lipunov Y.I., Startseva M.V., Eysmond K.Y., Nekrasova E.V., Trayanov G.G. 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.
3. Lipunov Yu.I., Eysmond K.Yu., Yaroshenko Yu.G., Startseva M.V., Nekrasova E.V. Joint bar thermostrengthening with jet water cooling. *Stal'*. 2014, no. 8, pp. 88–91. (In Russ.).
4. Kharchenko O.V., Ivanov V.I. Mathematical modelling of a high-cooling process of rolled section steel. *Pratsi XVII mizhnarodnoi konferentsii «Teplotekhnika ta energetika v metallurgii»* [Works of XVII International conference «Heat engineering and energetics in metallurgy»], NMetAU, Dnipropetrovs'k, Ukraina. 7 – 8 zhovtnya 2014 r., Dnipropetrovs'k: NMetAU, 2014. 202 p. (In Ukr.).
5. GOST 1497 – 84. *Metally. Metody ispytaniy na rastyazhenie* [State Standard 1497 – 84. Metals. Testing methods of tension]. Moscow: Standartinform, 2005. 24 p. (In Russ.).
6. GOST 5639 – 82. *Stali i splavy. Metody vyyavleniya i opredeleniya velichiny zerna* [State Standard 5639 – 82. Steels and alloys. Methods for revealing and testing of grain size]. Moscow: IPK Izd-vo standartov, 2003. 38 p. (In Russ.).
7. Nedoma I. *Rasshifrovka rentgenogramm poroshkov* [Interpretation of powder X-ray patterns]. Moscow: Metallurgiya, 1975, p. 424. (In Russ.).
8. *Alphabetical Indexes (Inorganic Phases) sets-44*. The International Centre for Diffraction Data. 2011.
9. Kuznetsova G.A. *Kachestvennyi rentgenofazovyi analiz (metodicheskie ukazaniya)* [Qualitative X-ray diffraction analysis (methodological instructions)]. Irkutsk: izd. Irkutskogo gos. un-t., 2005, p. 28. (In Russ.).

Received February 7, 2014