

УДК 621.785

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПО СЕЧЕНИЮ ГОЛОВКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ВОЗДУХОМ

*Полевой Е.В.<sup>1</sup>, начальник бюро металловедения и термической  
обработки (Egor.Polevoj@evraz.com)*

*Темлянцева М.В.<sup>2</sup>, д.т.н., профессор, проректор по научной работе  
и инновациям (ucheb\_n\_otdel@sibsio.ru)*

*Сюсюкин А.Ю.<sup>1</sup>, главный специалист по тепловым агрегатам  
рельсобалочного цеха (Andrey.Syusyukin@evraz.com)*

<sup>1</sup> АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»  
(654049, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, шоссе Космическое, 16)

<sup>2</sup> Сибирский государственный индустриальный университет  
(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

**Аннотация.** Скорость охлаждения является одним из важнейших параметров процесса термической обработки. С целью установления закономерностей формирования микроструктуры в головке железнодорожных рельсов на опытной установке проведены эксперименты по дифференцированной термической обработке воздухом железнодорожных рельсов типа Р65. В процессе термической обработки в точках, характеризующих качество закалки рельсов при приемосдаточных испытаниях, на глубине 10 и 22 мм от поверхности катания головки по центральной линии оси симметрии рельса измерена температура и рассчитана скорость охлаждения металла в интервале температур перлитного превращения. Установлена зависимость изменения скорости охлаждения рельсового металла от давления воздуха. Полученные в ходе эксперимента зависимости обладают высоким коэффициентом достоверности, что позволяет применять их для прогнозирования скорости охлаждения при повышении давления посредством экстраполяции.

**Ключевые слова:** рельсы, термическая обработка, скорость охлаждения.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2016-8-543-546

Скорость охлаждения рельсовой стали является одним из важнейших параметров термической обработки, которая, наряду с химическим составом, непосредственным образом влияет на формирование структуры и, соответственно, на свойства металла. Наиболее распространенный до недавнего времени вид термической обработки рельсов путем объемной закалки в масле достаточно хорошо изучен и подробно освещен в литературе [1 – 5], в том числе исследованы скорости охлаждения по сечению головки и подошвы рельсов в процессе закалки [4]. Однако к настоящему времени процесс объемной закалки не позволяет достичь необходимого уровня свойств, предъявляемых к современным рельсам [6 – 8], и не отвечает возросшим требованиям по энергосбережению [7, 8]. Поэтому при производстве современных рельсов применяют более совершенные виды дифференцированной термической обработки с применением в качестве охлаждающих сред растворов полимера или воздуха [9 – 12]. Несмотря на то, что воздух имеет достаточно низкую охлаждающую способность [13], его применение имеет ряд преимуществ экономического, экологического и технологического характера по сравнению с растворами полимера.

Основное отличие дифференцированной закалки от объемной заключается в обеспечении различной скорости охлаждения элементов профиля рельса. Так, при дифференцированной термической обработке наиболее интенсивно охлаждается головка рельсов, в то время как подошва и шейка подвергаются минимальному регулируемому охлаждению с целью обеспечения минимальной искривленности рельсовых раскатов и низких внутренних остаточных напряжений перед правкой. Повышение управляемости процессом закалки открывает широкие перспективы для получения требуемого уровня свойств и повышения эксплуатационной стойкости рельсов [14, 15].

В связи с изложенным целью настоящей работы является определение скорости охлаждения по сечению головки железнодорожных рельсов в зависимости от параметров термической обработки воздухом.

При приемосдаточных испытаниях для определения качества рельсового металла большинство свойств (механические свойства при растяжении, ударную вязкость, твердость) определяют, как правило, на глубине до 10 мм, а качество закалки контролируют по твердости на глубине 22 мм. Поэтому для определения скорости охлаждения были выбраны точки, расположенные

на центральной оси симметрии рельса на расстоянии 10 и 22 мм от поверхности катания.

Перед проведением экспериментов в образце рельса типа Р65 длиной 400 мм были сделаны отверстия на глубине 10 и 22 мм. Нагрев пробы осуществляли в газовой печи до температур 850 – 900 °С. Температуру поверхности пробы в процессе проведения экспериментов фиксировали ручным инфракрасным пирометром типа Raynger МХ. После нагрева темплета до заданной температуры и выдержки предварительно подогретый конец термопары совмещали с отверстием в пробе и проводили ускоренное охлаждение по различным режимам на опытной установке, подробно описанной в работе [16]. Давление воздуха в процессе охлаждения варьировали в пределах от  $10^4$  до  $(1,5 \div 2,2) \cdot 10^4$  Па. Среднюю скорость охлаждения рассчитывали для интервала перлитного превращения 700 – 600 °С.

На рис. 1 и 2 показано изменение температуры металла на глубине 10 и 22 мм от поверхности катания головки (ПКГ) в процессе охлаждения при различном давлении воздуха во времени ( $\tau$ ).

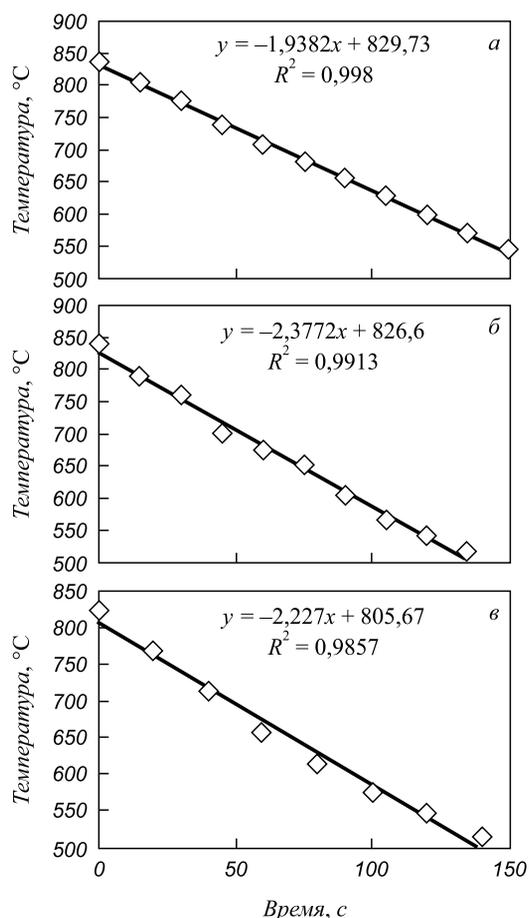


Рис. 1. Изменение температуры металла на глубине 10 мм от ПКГ в процессе охлаждения при давлении воздуха  $1,0 \cdot 10^4$  Па (а),  $1,5 \cdot 10^4$  Па (б) и  $2,2 \cdot 10^4$  Па (в)

Fig. 1. Metal temperature variations at the depth of 10 mm on the head roll surface (HRS) in the cooling process at the air pressure of  $1,0 \cdot 10^4$  Pa (a),  $1,5 \cdot 10^4$  Pa (б) and  $2,2 \cdot 10^4$  Pa (в)

При давлении воздуха  $10^4$  Па наблюдается минимальная скорость охлаждения в интервале температур перлитного превращения 700 – 600 °С, составляющая примерно 1,83 °С/с. С увеличением давления до  $1,5 \cdot 10^4$  и  $2,2 \cdot 10^4$  Па средняя скорость охлаждения увеличивается до 2,09 и 2,52 °С/с соответственно.

С увеличением расстояния от поверхности катания до 22 мм скорость охлаждения в интервале температур перлитного превращения уменьшается (рис. 2) и составляет 1,1, 1,31 и 1,63 °С/с при давлении воздуха  $10^4$ ,  $1,5 \cdot 10^4$  и  $2,2 \cdot 10^4$  Па соответственно.

На рис. 3 показано изменение скорости охлаждения металла головки рельсов на глубине 10 и 22 мм от поверхности катания в интервале перлитного превращения 700 – 600 °С в зависимости от давления воздуха. С увеличением давления скорость охлаждения  $v_{\text{охл}}$  увеличивается по закону:

– на глубине 10 мм:

$$v_{\text{охл}10} = 8 \cdot 10^{-10} (P_{\text{ос}})^2 + 3 \cdot 10^{-5} P_{\text{ос}} + 1,4279;$$

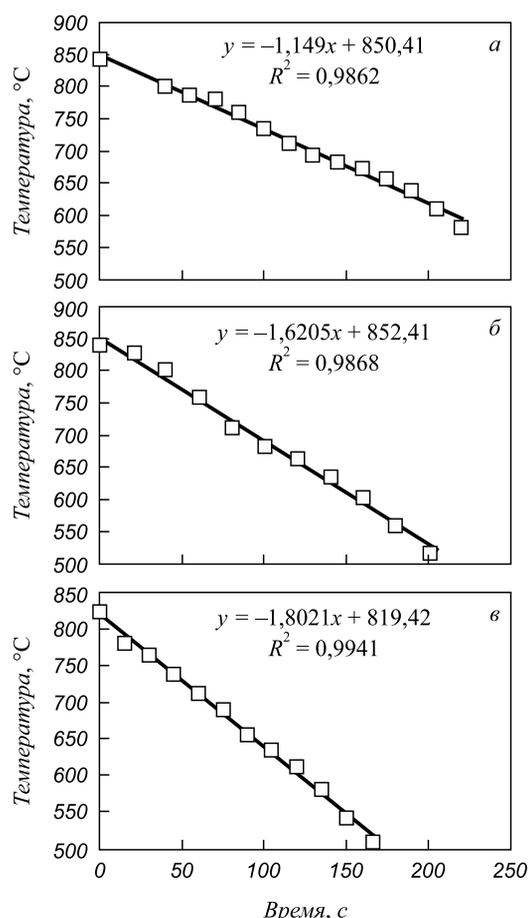


Рис. 2. Изменение температуры металла на глубине 22 мм от ПКГ в процессе охлаждения при давлении воздуха  $1,0 \cdot 10^4$  Па (а),  $1,5 \cdot 10^4$  Па (б) и  $2,2 \cdot 10^4$  Па (в)

Fig. 2. Metal temperature variations at the depth of 22 mm on HRS in the cooling process at the air pressure of  $1,0 \cdot 10^4$  Pa (a),  $1,5 \cdot 10^4$  Pa (б) and  $2,2 \cdot 10^4$  Pa (в)

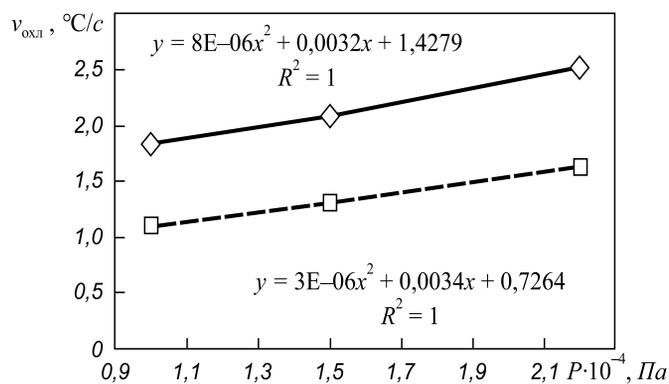


Рис. 3. Изменение скорости охлаждения металла рельса на глубине 10 мм (—) и 22 мм (---) от ПКГ в процессе охлаждения в зависимости от давления воздуха

Fig. 3. Variations of cooling rate of the rail metal at the depth of 10 mm (—) and 22 mm (---) on HRS in the cooling process in dependence on the air pressure

– на глубине 22 мм:

$$v_{ohl22} = 3 \cdot 10^{-10}(P_{oc})^2 + 3 \cdot 10^{-5}P_{oc} + 0,7264,$$

где  $v_{ohl10}$  и  $v_{ohl22}$  – скорость охлаждения на расстоянии 10 и 22 мм от поверхности катания головки рельса;  $P_{oc}$  – давление охлаждающей среды.

Для представленных выше выражений отмечена высокая достоверность аппроксимации, что позволяет с высокой достоверностью прогнозировать скорость охлаждения рельсового металла на указанных глубинах при больших давлениях воздуха.

**Выводы.** При охлаждении головки рельса сжатым воздухом на глубине 10 мм от поверхности катания скорость охлаждения в интервале температур перлитного превращения при изменении давления воздуха в пределах  $(1,5 \div 2,2) \cdot 10^4$  Па изменяется в пределах  $1,83 - 2,52$  °C/c и описывается зависимостью  $v_{ohl10} = 8 \cdot 10^{-6}(P_{oc})^2 + 0,0032P_{oc} + 1,4279$ . При охлаждении головки рельса сжатым воздухом на глубине 22 мм от поверхности катания скорость охлаждения в интервале температур перлитного превращения при изменении давления воздуха в пределах  $(1,5 \div 2,2) \cdot 10^4$  Па изменяется в пределах  $1,1 - 1,6$  °C/c и описывается зависимостью  $v_{ohl22} = 3 \cdot 10^{-6}(P_{oc})^2 + 0,0034P_{oc} + 0,7264$ . Эти зависимости обладают высокой степенью достоверности и могут быть использованы путем экстраполяции при определении скорости охлаждения металла по сечению головки рельсов с повышением давления.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поляков В.В., Великанов А.В. Основы технологии производства железнодорожных рельсов. – М.: Metallurgy, 1990. – 416 с.
2. Железнодорожные рельсы из электростали / Н.А. Козырев, В.В. Павлов, Л.А. Годик, В.П. Деметьев. – Новокузнецк, 2006. – 388 с.
3. Золотаревский А.Ф. Термически упрочненные рельсы. – М.: Транспорт, 1976. – 264 с.
4. Перспективные технологии тепловой и термической обработки в производстве рельсов / В.В. Павлов, М.В. Темлянец, Л.В. Корнева, А.Ю. Сюсюкин. – М.: Теплотехник, 2007. – 280 с.
5. Ворожищев В.И. Состав и технология производств рельсов повышенной работоспособности. – Новокузнецк: Новокузнецкий полиграфический комбинат, 2008. – 351 с.
6. Снитко Ю.П., Галямов А.Х., Никитин С.В. Современное состояние производства рельсов за рубежом. – В кн.: Материалы юбилейной рельсовой комиссии 2002. Сборник докладов. – Новокузнецк: изд. ОАО КМК, 2002. – 354 с.
7. Левченко В.Н., Рудюк А.С. Разработка технологии термоупрочнения рельсов с использованием тепла прокатного нагрева // Metallurgical and Mining Industry. 2006. № 3. С. 61 – 63.
8. Шур Е.А., Федин В.М., Жигалкин И.Г. и др. Новый метод термической обработки рельсов с использованием двустороннего охлаждения. – В кн.: Материалы юбилейной рельсовой комиссии 2002. Сборник докладов. – Новокузнецк: изд. ОАО КМК, 2002. – 354 с.
9. Полевой Е.В., Волков К.В., Головатенко А.В. и др. Совершенствование технологии производства рельсов на ОАО «ЕВРАЗ объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2013. № 4. С. 26 – 28.
10. Капнин В.В., Шабуров Д.В. Освоение технологии производства рельсов на ОАО «ЧМК» // Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений: Сборник научных докладов. – СПб.: ОАО «УИМ», 2015. – 320 с.
11. Снитко Ю.П. Челябинские рельсы будут лучшими // Металлы Евразии. 2009. № 1. С. 42 – 46.
12. Снитко Ю.П. Рельсы: стремление к скорости // Металлы Евразии. 2008. № 5. С. 1 – 5.
13. Люты В. Закалочные среды: Справ. изд. / Под ред. С.Б. Масленкова; пер. с польского. – Челябинск: Metallurgy, 1990. – 192 с.
14. Борц А.И., Шур Е.А., Федин В.М. Перспективы развития рельсового производства в России. // Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений: Сборник научных докладов. – Екатеринбург: ОАО «УИМ», 2011. – 222 с.
15. Борц А.И., Шур Е.А., Рейхарт В.А., Федин В.М., Базанов Ю.А. Исследование свойств рельсов, подвергнутых дифференцированной закалке с прокатного нагрева. // Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений: Сборник научных докладов. – Екатеринбург: ОАО «УИМ», 2010. – 208 с.
16. Волков К.В., Полевой Е.В., Темлянец М.В. и др. Моделирование воздушоструйной закалки с печного нагрева железнодорожных рельсов // Вестник СибГИУ. 2014. № 3(9). С. 17 – 23.

Поступила 25 февраля 2016 г.

## DEFINITION OF COOLING RATE ALONG A HEAD SECTION OF RAILS AT THERMAL PROCESSING WITH AIR

*E. V. Polevoi*<sup>1</sup>, *M. V. Temlyantsev*<sup>2</sup>, *A. Y. Suysuykin*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JSC “EVRAZ - Joint West Siberian Metallurgical Plant”, Novokuznetsk, Russia

<sup>2</sup>Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

**Abstract.** Cooling rate is one of the major parameters of thermal processing. The experiments on the differentiated thermal processing by air of rails of R65 type are made on skilled installation to purpose an establishment of microstructure formation rules in a rails heads. In the course of thermal processing the temperature was measured in points characterizing the quality of rails training at acceptance tests at the depth of 10 mm and 22 mm from a surface of a head driving on the central line of symmetry axis of a rail. Metal cooling rate was calculated in the range of temperatures of pearlite transformations. Change dependence of cooling rate of rail metal on air pressure was established. The dependences received during the experiment possess high factor of reliability that allows applying them in forecasting of cooling rate at pressure increase by means of extrapolation.

**Keywords:** rails, heat treatment, cooling rate.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-8-543-546

### REFERENCES

1. Polyakov V.V., Velikanov A.V. *Osnovy tekhnologii proizvodstva zheleznodorozhnykh rel'sov* [Basics of rail production technology]. Moscow: Metallurgiya, 1990, 416 p. (In Russ.).
2. Kozyrev N.A., Pavlov V.V., Godik L.A., Dement'ev V.P. *Zheleznodorozhnye rel'sy iz elektrostali* [Rails of electric steel]. Novokuznetsk, 2006, 388 p. (In Russ.).
3. Zolotarevskii A.F. *Termicheski uprochnennyye rel'sy* [Thermally hardened rails]. Moscow: Transport, 1976, 264 p. (In Russ.).
4. Pavlov V.V., Temlyantsev M.V., Korneva L.V., Syusyukin A.Yu. *Perspektivnye tekhnologii teplovoi i termicheskoi obrabotki v proizvodstve rel'sov* [Perspective technologies of heat and thermal processing in rail production]. Moscow: Teplotekhnika, 2007, 280 p. (In Russ.).
5. Vorozhishchev V.I. *Sostav i tekhnologiya proizvodstv rel'sov povyshennoi rabotosposobnosti* [Composition and production engineering of rails of increased working capacity]. Novokuznetsk: Novokuznetskii poligraficheskii kombinat, 2008, 351 p. (In Russ.).
6. Snitko Yu.P., Galyamov A.Kh., Nikitin S.V. Modern state of rail production abroad. In: *Materialy yubileinoi rel'sovoi komissii 2002. Sbornik dokladov* [Proceedings of Jubilee Rail Commission, 2002. Collected reports]. Novokuznetsk: izd. OAO KMK, 2002, 354 p. (In Russ.).
7. Levchenko V.N., Rudyuk A.S. Development of rail thermostrengthening technology with the use of rolling heat. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2006, no. 3, pp. 61–63. (In Russ.).
8. Shur E.A., Fedin V.M., Zhigalkin I.G. etc. New method of rail thermal treatment with the use of double-sided cooling. In: *Materialy yubileinoi rel'sovoi komissii 2002. Sbornik dokladov* [Proceedings of Jubilee Rail Commission, 2002. Collected reports]. Novokuznetsk: izd. OAO KMK, 2002, 354 p. (In Russ.).
9. Polevoi E.V., Volkov K.V., Golovatenco A.V., Atkonova O.P., Yunusov A.M. Rail production engineering improvement at JSC «EVRAZ Joint West Siberian Metallurgical Plant». *Problemy chernoi metallurgii i materialovedeniya*. 2013, no. 4, pp. 26–28. (In Russ.).
10. Kapnin V.V., Shaburov D.V. Rail production engineering development at JSC “ChMK”. In: *Uluchshenie kachestva i uslovii ekspluatatsii rel'sov i rel'sovykh skreplenii: Sbornik nauchnykh dokladov* [Improvement of the quality and service conditions of rails and rail fastenings: Collected scientific reports]. St. Petersburg: OAO “UIM”, 2015, 320 p. (In Russ.).
11. Snitko Yu.P. Chelyabinsk rails will be the best. *Metally Evrazii*. 2009, no. 1, pp. 42–46. (In Russ.).
12. Snitko Yu.P. Rails: striving for the speed. *Metally Evrazii*. 2008, no. 5, pp. 1–5. (In Russ.).
13. Luty W. *Chtodziwa hartownicze*. Warszawa, 1986. (Russ.ed.: Luty W. *Zakalochnye sredy: Sprav. izd.* Trans. from Polish. Chelyabinsk: Metallurgiya, 1990, 192 p.) (In Pol.).
14. Borts A.I., Shur E.A., Fedin V.M. Perspectives of rail production development in Russia. In: *Uluchshenie kachestva i uslovii ekspluatatsii rel'sov i rel'sovykh skreplenii: Sbornik nauchnykh dokladov* [Improvement of the quality and service conditions of rails and rail fastenings: Collected scientific reports]. Ekaterinburg: OAO “UIM”, 2011, 222 p. (In Russ.).
15. Borts A.I., Shur E.A., Reikhardt V.A., Fedin V.M., Bazanov Yu.A. Study of the rail properties, subjected to differentiated hardening with rolling heat. In: *Uluchshenie kachestva i uslovii ekspluatatsii rel'sov i rel'sovykh skreplenii: Sbornik nauchnykh dokladov* [Improvement of the quality and service conditions of rails and rail fastenings: Collected scientific reports]. Ekaterinburg: OAO “UIM”, 2010, 208 p. (In Russ.).
16. Volkov K.V., Polevoi E.V., Temlyantsev M.V., Atkonova O.P., Yunusov A.M., Syusyukin A.Yu. Modeling of airspray hardening with furnace heating of rails. *Vestnik SibGIU*. 2014, no. 3(9), pp. 17–23. (In Russ.).

### Information about the authors:

*E. V. Polevoi*, Head of the Bureau of Physical Metallurgy and Thermal Treatment of the Technical Department of Rail Area

(Egor.Polevoj@evraz.com)

*M. V. Temlyantsev*, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Vice-Rector for Research and Innovations (ucheb\_n\_otdel@sibsiu.ru)

*A. Y. Suysuykin*, Chief Specialist on Thermal Units of Rail and Beam Shop (Andrey.Syusyukin@evraz.com)

Received February 25, 2016