

УДК 621.771.262.04

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЛЬСОВ ИМПОРТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Дементьев В.П.¹, к.т.н., доцент кафедры металлургии черных металлов (mchmsis@mail.ru)

Фейлер С.В.¹, к.т.н., заведующий кафедрой металлургии черных металлов (mchmsis@mail.ru)

Бойков Д.В.², к.т.н., начальник сталеплавильного бюро (Dmitry.Bojkov@evraz.com)

Козырев Н.А.¹, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения, литейного
и сварочного производства (kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru)

Полевой Е.В.², начальник бюро материаловедения и термообработки технического отдела
рельсовой площадки (Egor.Polevoj@evraz.com)

¹ Сибирский государственный индустриальный университет
(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² ОАО «ЕВРАЗ – Западно-Сибирский металлургический комбинат»
(654043, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, шоссе Космическое, 16)

Аннотация. Проведено металлографическое исследование рельса типа R65 японского производства после эксплуатации на Восточно-Сибирской железной дороге. Показано, что по химическому составу металл пробы удовлетворяет требованиям ТУ 0921-239-01124323 – 2007, предъявляемым к стали для производства рельсов 350ЛДТ. Качество макроструктуры металла удовлетворительное. Механические свойства при растяжении, твердость, ударная вязкость при температуре +20 °С, определенная на образцах, вырезанных из нерабочей выкружки головки, удовлетворяют требованиям ТУ 0921-239-01124323 – 2007 для рельсов 350ЛДТ. Ударная вязкость при отрицательных температурах не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к качеству отечественных рельсов низкотемпературной надежности. Загрязненность рельса неметаллическими включениями незначительная, однако встречаются недопустимые включения экзогенного характера. Микроструктура рельсовой пробы японского производства – сорбитообразный и пластинчатый перлит, дисперсность которых по мере удаления от поверхности во всех элементах рельсовых проб уменьшается. При эксплуатации рельса образовались тонкие косые трещины глубиной до 1,1 мм, расположенные на поверхности рабочей выкружки головки, а также значительный боковой износ до 15 мм.

Ключевые слова: рельсы, прокат, неметаллические включения, термическая обработка, механические свойства, эксплуатационная стойкость.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-6-402-408

В мировой практике производства железнодорожных рельсов известно несколько способов термического упрочнения: дифференцированная закалка быстродвижущимся потоком воды, сжатым воздухом или водовоздушной смесью; упрочнение головки в растворе полимера; объемная закалка в масле [1 – 11]. От способа термического упрочнения сильно зависит эксплуатационная стойкость рельсов [12, 13]. До недавнего времени все производимые на Нижнетагильском и Кузнецком металлургическом комбинатах железнодорожные рельсы подвергали объемной закалке. Только в 2010 – 2011 гг. в Российской Федерации в условиях ОАО «ЕВРАЗ – Западно-Сибирский металлургический комбинат» («ЕВРАЗ ЗСМК») было освоено производство рельсов с дифференцированной закалкой воздухом и на ОАО «Мечел» – с упрочнением головки в растворе полимера. Эксплуатация же импортных железнодорожных рельсов с дифференцированной закалкой на железных дорогах ОАО «РЖД» производится с 1995 г.: эксплуатационная стойкость таких рельсов в условиях Сибири и Крайнего Севера представляет значительный интерес. В настоящей работе исследовали качество

рельсов типа R65 японского производства, изъятых после эксплуатации с кривого участка пути Восточно-Сибирской железной дороги. Общий вид макротемплета рельса со значительным боковым износом до 15 мм приведен на рис. 1. Рельсы были уложены во второй путь 5256 км в кривой участок пути радиусом 297 м. Пропущенный тоннаж составил 136 млн. т брутто. Рельс снят в апреле 2013 г. по боковому износу.

Результаты контрольного химического анализа металла исследуемой пробы и существующие в РФ требования приведены в табл. 1.

По содержанию химических элементов металл пробы соответствует требованиям ТУ 0921-239-01124323 – 2007, предъявляемым к стали для производства рельсов категории 350ЛДТ.

Результаты фракционного газового анализа показали, что наибольшая массовая доля кислорода находится в алюминатах и в алюмосиликатах кальция, силикатах кальция и магниевых шпинелях (2,6 и 2,2 ppm соответственно), а наименьшая (1,3 ppm) – в силикатах.

Макроструктуру поперечного сечения рельса выявляли методом глубокого травления в 50 %-ном растворе



Рис. 1. Макротемплет рельса

Fig. 1. Rail macrotemplate

соляной кислоты и оценивали в соответствии с руководящим документом РД 14-2Р-5 – 2004 «Классификатор дефектов макроструктуры рельсов, прокатанных из непрерывнолитых заготовок электростали». Макроструктура металла по осевой ликвации (*I*), точечной неоднородности (*II*), ликвационным полоскам (*III*) удовлетворительная. На макротемплете на поверхности

рабочей выкружки головки выявлены тонкие извилистые косые трещины, образующие сетку и проходящие на глубину до 1 мм.

Механические характеристики при растяжении, ударную вязкость при температуре +20 °С, твердость на поверхности катания головки и по сечению определяли в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51685 – 2000 и ТУ 0921-239-01124323 – 2007 на образцах, вырезанных из пробы. Дополнительно из пробы были изготовлены два образца для испытания на ударную вязкость при температуре –60 °С. Результаты механических испытаний и твердость приведены в табл. 2 и 3. Механические свойства при растяжении, твердость на поверхности катания головки и по сечению, а также ударная вязкость при температуре +20 °С, которые определены на образцах, вырезанных из нерабочей выкружки головки исследуемого рельса, удовлетворяют требованиям ТУ 0921-239-01124323 – 2007 для рельсов категории 350ЛДТ.

Повышенная (404 НВ) твердость на поверхности катания головки рельсовой пробы и пониженная (8,6 – 12,0 Дж/см²) ударная вязкость при температуре +20 °С, определенные на образцах, которые вырезаны из рабочей выкружки головки, обусловлены наклепом поверхностных слоев металла рельса при эксплуатации. Ударная вязкость при температуре –60 °С пониженная и составляет 4,8 Дж/см². Эти результаты указывают

Т а б л и ц а 1

Химический состав

Table 1. Chemical composition

Материал	Содержание, %, химических элементов													ppm
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	V	Ti	Mo	N	O ₂
Проба	0,78	0,80	0,64	0,016	0,005	0,51	0,02	0,02	0,002	0,003	0,002	0,006	0,0022	4,6
Требования ТУ 0921-239- 01124323 – 2007	$\frac{0,72}{0,82}$	$\frac{0,70}{1,20}$	$\frac{0,35}{1,00}$	≤0,025	≤0,020	$\frac{0,30}{0,70}$	≤0,10	≤0,10	≤0,005	≤0,01	≤0,025	≤0,02	≤0,015	≤20

П р и м е ч а н и е. Через дробную черту приведены минимальное и максимальное значения. Требования ТУ приведены для стали для рельсов 350ЛДТ.

Т а б л и ц а 2

Механические свойства при растяжении и ударная вязкость проб рельсов

Table 2. Mechanical properties at tension and impact strength of rail samples

Образец	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	Ψ , %	КCU, Дж/см ² , при температуре, °С	
					+20	–60
<i>I</i> – вырезанный из нерабочей выкружки головки	870	1270	12,0	44,0	20 21	4,8
<i>2</i> – вырезанный из рабочей выкружки головки (в зоне смятия)	840	1260	13,0	45,0	12 8,6	4,8
Требования ТУ 0921-239-01124323 – 2007 для рельсов 350ЛДТ	–	≥1240	≥9,0	–	≥15 (1,5)	–

Твердость проб рельсов

Table 3. Hardness of rail samples

Материал	Твердость, НВ						
	головка				шейка	подошва	
	ПКГ	10 мм	выкружка	22 мм			
Проба	404	380	378	–	347	325	339 329
Требования ТУ 0921-239-01124323 – 2007 для рельсов 350ЛДТ	362 – 400	≥341	≥341	≥341	≥341	≤341	≤363

на невозможность производства рельсов низкотемпературной надежности при использовании технологии дифференцированной закалки [14, 15].

Для определения механических характеристик при растяжении и ударной вязкости металла в подошве пробы изготовлены разрывные и ударные образцы, которые промаркированы согласно схеме (рис. 2), результаты испытаний приведены в табл. 4.

Наибольшие значения прочностных характеристик ($\sigma_T = 860 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_B = 1260 \text{ Н/мм}^2$) получены на образце, вырезанном у основания подошвы по месту вертикальной оси рельсовой пробы и сопоставимы с прочностными характеристиками в головке ($\sigma_T = 840 \div 870 \text{ Н/мм}^2$; $\sigma_B = 1260 \div 1270 \text{ Н/мм}^2$). При этом уровень пластических свойств образца, вырезанного у основания подошвы,

по сравнению образцом, вырезанном из головки, немного пониженный: $\delta_5 = 9,5 \%$, $\psi = 36 \%$ и $\delta_5 = 12 \div 13 \%$, $\psi = 44 \div 45 \%$ соответственно.

Прочностные характеристики, определенные на некотором расстоянии от вертикальной оси в сторону перьев, несколько ниже по сравнению с вышеуказанными значениями и составляют $\sigma_T = 780 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_B = 1200 \div 1220 \text{ Н/мм}^2$, при этом относительное сужение на этих образцах имеет различный уровень и составляет 28 и 40 % соответственно. Относительное удлинение несколько пониженное, составляет 9,9 и 11 % соответственно.

На одном из перьев подошвы при пониженных значениях прочностных свойств ($\sigma_T = 630 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_B = 1020 \text{ Н/мм}^2$) получено относительное сужение до 58 %, на втором перье прочностные свойства несколько выше ($\sigma_T = 730 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_B = 1200 \text{ Н/мм}^2$) при относительном сужении 34 %. При этом уровень относительного удлинения одинаковый и составляет 12 %.

На образцах, вырезанных на некотором расстоянии от поверхности по вертикальной оси, также получены пониженные прочностные ($\sigma_T = 670 \div 750 \text{ Н/мм}^2$; $\sigma_B = 1090 \div 1160 \text{ Н/мм}^2$) и пластические ($\delta_5 = 9,5 \div 10,5 \%$; $\psi = 23 \div 25 \%$) характеристики.

Ударная вязкость при температуре +20 °С образцов, вырезанных из подошвы, составляет 15 – 23 Дж/см², на двух образцах ударная вязкость составляет 12 Дж/см²;

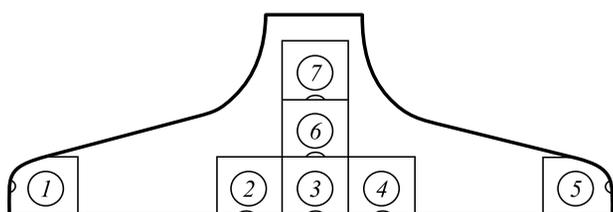


Рис. 2. Схема вырезки образцов

Fig. 2. Scheme of sample cutting

Механические характеристики по сечению рельса

Table 4. Mechanical characteristics along the rail section

Образец	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ² , при температуре, °С	
					+20	–60
1 (перо)	630	1020	12,0	58,0	23, 23	9,7
2	780	1200	9,9	28,0	23, 19	3,6
3	860	1260	9,5	36,0	15, 18	3,6
4	780	1220	11,0	40,0	12, 9,8	4,8
5 (перо)	730	1200	12,0	34,0	23, 18	17
6	750	1160	9,5	23,0	9,6, 20	7,2
7	670	1090	10,5	25,0	12, 15	6,0

на двух – 9,6 – 9,8 Дж/см² и сопоставима с ударной вязкостью в головке рельса.

Ударная вязкость при температуре –60 °С пониженная (от 3,6 до 9,7 Дж/см²), для одного образца 17 Дж/см²; относительно высокие значения ударной вязкости получены на образцах, вырезанных из перьев подошвы (9,7 и 17 Дж/см²).

Твердость по сечению головки и подошвы рельса измеряли методом Роквелла на твердомере «AFFRI 251 VRSD». В головке рельса измерения производили вдоль вертикальной оси от поверхности катания на глубину до 40 мм и от поверхности выкружек под углом 45° к горизонтальной прямой, проведенной через контрольные точки замера твердости в зоне выкружек на глубине 10 мм, через каждые 5,0 мм согласно схеме, представленной на рис. 3, а. В подошве пробы твердость измеряли вдоль вертикальной оси от поверхности подошвы на глубину до 35 мм и вдоль горизонтальной прямой, проведенной через контрольные точки замера твердости в подошве рельсов по обе стороны от вертикальной оси через каждые 5,0 мм согласно схеме, представленной на рис. 3, б. Результаты измерения твердости по сечению головки и подошвы рельса представлены в табл. 5 и 6. Твердость по сече-

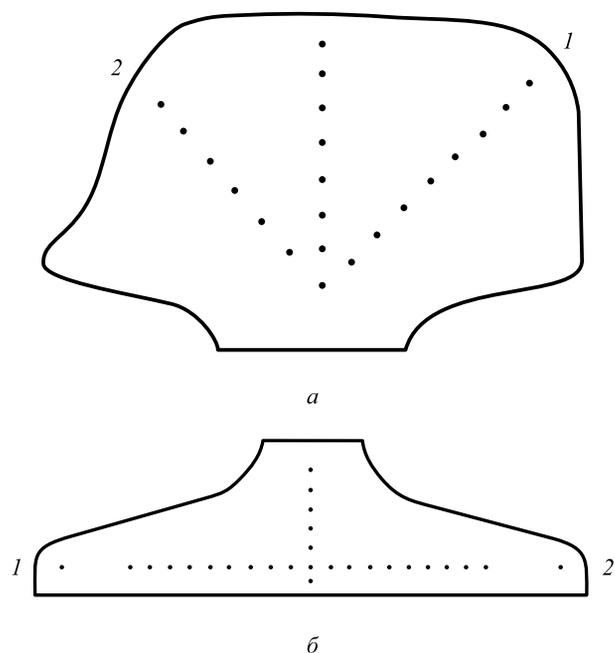


Рис. 3. Схема расположения точек замера твердости по сечению головки (а) и подошвы (б) рельса

Fig. 3. Layout chart of hardness measuring points along the section of the head (a) and the bottom (b) of the rail

Т а б л и ц а 5

Твердость в головке HRC (HB)

Table 5. Hardness in the head of HRC (HB)

Направление измерений	Твердость в головке HRC (HB) на расстоянии от поверхности, мм								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
вдоль вертикальной оси	37,3 (361,7)	37,1 (359,9)	36,8 (357,2)	36,3 (352,7)	34,2 (333,8)	33,3 (325,7)	32,7 (321,4)	32,9 (322,1)	–
со стороны выкружки 1 (нерабочей)	38,2 (369,5)	38,1 (368,9)	37,1 (359,9)	36,1 (350,9)	35,2 (342,8)	35,2 (342,8)	34,1 (330,7)	33,3 (325,7)	32,9 (322,1)
со стороны выкружки 2 (рабочей)	37,7 (355,3)	37,4 (362,6)	36,4 (353,6)	36,9 (358,1)	35,7 (347,3)	35,5 (345,5)	–	–	–

Т а б л и ц а 6

Твердость в подошве HRC (HB)

Table 6. Hardness in the bottom of HRC (HB)

Направление измерений	Твердость HRC (HB) в подошве на расстоянии, мм, от поверхности подошвы пробы													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
1	34,9 334	34,5 337	33,1 324	33,7 329	30,6 303	33,1 324	29,6 295	–	–	–	–	–	–	–
2	33,6 328	32,9 322	31,7 312	30,5 302	26,9 275	25 263	24,6 259	24,8 261	28 283	28,1 284	28,8 289	27 276	28,1 284	31,4 309
3	33,2 325	33,3 327	32,9 322	31,7 312	31,2 308	25,2 263	24,8 261	23,5 253	28,1 284	27,9 282	28,4 286	28,1 284	28,8 288	31,7 312

П р и м е ч а н и е: 1 – вдоль вертикальной оси; 2 – по горизонтали в сторону пера 1 от вертикальной оси; 3 – по горизонтали в сторону пера 2 от вертикальной оси.

нию головки по мере удаления от поверхности уменьшается.

Твердость, измеренная по горизонтали в сторону перьев на расстоянии примерно до 25 мм от вертикальной оси, практически одинакова и составляет 30,5 – 33,6 HRC (302,0 – 328,4 HB), далее примерно до 40 мм она снижается до 23,5 – 25,0 HRC (253,0 – 262,7 HB), а затем повышается до 31,7 HRC (311,6 HB).

Дополнительно измеряли твердость на поверхности основания подошвы в произвольном месте по длине пробы на темплете длиной примерно 330 мм после шлифовки его поверхности на глубину до 1 мм. Измерение твердости проводили вдоль направления прокатки, начиная с одного торца через каждые 10 мм в пяти зонах: осевой и на расстоянии 20 и 40 мм слева и справа от оси. Результаты измерения твердости приведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Твердость на поверхности основания подошвы

Table 7. Hardness on the surface of the bottom base

Замер	Твердость HRC (HB) на поверхности основания подошвы				
	40 мм слева от оси	20 мм слева от оси	в осевой зоне	20 мм справа от оси	40 мм справа от оси
1	36,6 (355,4)	37,8 (366,2)	36,8 (357,2)	37,3 (361,7)	35,8 (348,2)
2	36,2 (351,8)	37,6 (364,4)	36,7 (356,3)	36,9 (358,1)	35,7 (347,3)
3	36,0 (350,0)	37,5 (363,5)	36,2 (351,2)	37,2 (360,8)	35,4 (344,6)
4	36,8 (357,2)	37,3 (361,7)	36,0 (350,0)	36,5 (354,5)	35,7 (347,3)
5	36,1 (350,9)	37,3 (361,7)	35,2 (342,8)	37,6 (364,4)	35,9 (349,1)
6	36,4 (353,6)	37,0 (359,)	35,6 (346,4)	36,2 (351,8)	36,1 (350,9)
7	36,2 (351,8)	37,6 (364,4)	35,9 (349,1)	36,0 (350,0)	35,7 (347,3)
8	35,8 (348,2)	37,6 (364,4)	36,0 (350,0)	36,3 (352,7)	35,6 (346,4)
9	35,7 (347,3)	36,5 (354,5)	35,8 (348,2)	36,3 (352,7)	36,1 (350,9)
10	35,8 (348,2)	36,8 (357,2)	35,8 (357,2)	36,8 (357,2)	35,7 (347,3)
11	36,1 (350,9)	36,9 (358,1)	36,5 (354,5)	36,2 (351,8)	35,7 (347,3)
12	36,2 (351,8)	37,0 (359,0)	36,8 (357,2)	37,1 (359,9)	36,0 (350,0)
13	36,1 (350,9)	36,8 (357,2)	36,9 (358,1)	37,4 (362,6)	35,7 (347,3)
14	36,9 (358,1)	37,1 (359,9)	36,0 (350,0)	37,1 (359,9)	36,1 (350,9)
15	36,3 (352,7)	36,8 (357,2)	37,1 (359,9)	36,9 (358,1)	35,9 (349,1)
16	36,9 (358,1)	36,2 (351,8)	36,4 (353,6)	36,8 (357,2)	35,9 (349,1)
17	36,9 (358,1)	37,3 (361,7)	36,6 (355,4)	37,1 (359,9)	35,6 (346,4)
18	36,5 (354,5)	37,3 (361,7)	37,0 (359,0)	36,8 (357,2)	36,0 (350,0)
19	36,8 (357,2)	36,8 (357,2)	37,0 (359,0)	36,5 (354,5)	36,3 (352,7)
20	36,9 (358,1)	37,1 (359,9)	36,8 (357,2)	36,9 (358,1)	35,3 (343,7)
21	36,3 (352,7)	37,0 (359,0)	36,5 (354,5)	37,1 (359,9)	35,3 (343,7)
22	36,3 (352,7)	37,0 (359,0)	36,2 (351,8)	37,2 (360,8)	35,2 (342,8)
23	35,2 (342,8)	36,8 (357,2)	36,0 (350,0)	36,8 (357,2)	36,3 (352,7)
24	33,2 (324,8)	34,7 (338,3)	36,2 (351,8)	36,2 (351,8)	35,6 (346,4)
25	29,1 (290,8)	33,9 (331,1)	34,7 (338,3)	33,2 (324,8)	33,4 (326,6)
26	26,8 (274,6)	29,1 (290,8)	26,8 (274,6)	23,3 (251,8)	26,0 (269,0)
27	27,1 (276,7)	26,4 (271,8)	26,7 (273,9)	25,1 (262,7)	27,3 (278,1)
27	27,8 (281,6)	24,9 (261,4)	23,6 (253,6)	26,1 (269,7)	28,1 (273,7)
29	28,1 (273,7)	24,4 (258,4)	23,3 (251,8)	26,3 (271,1)	27,3 (278,1)
30	29,0 (290,0)	25,6 (266,2)	23,9 (255,4)	26,4 (271,8)	29,0 (290,0)
31	29,2 (291,6)	26,5 (272,5)	24,8 (260,8)	27,3 (278,1)	28,9 (289,3)
32	29,0 (290,0)	26,6 (273,2)	25,4 (264,8)	26,5 (272,5)	27,3 (278,1)

На поверхности пробы на расстоянии примерно 250 мм от торца твердость в осевой зоне, а также слева и справа от оси до 40 мм практически одинаковая и составляет 35,2 – 37,8 HRC (342,8 – 366,2 HB), далее на протяжении 80 мм во всех отмеченных точках наблюдается снижение твердости до 23,3 – 29,2 HRC (251,8 – 291,6 HB).

Оценку загрязненности металла неметаллическими включениями проводили на шлифе, вырезанном и приготовленном из боковой части головки рельса. Недопустимых строчек глинозема и нитридов титана, а также строчек глинозема и нитридов титана, сцементированных силикатами, в металле пробы не выявлено. Строчек хрупкоразрушенных сложных оксидов также не выявлено. При просмотре шлифа выявлено единичное глобулярное включение диам. 10,0 мкм. В основном на шлифе наблюдаются сульфиды нитевидной формы, оцениваемые баллом 1,5 по шкале ГОСТ 1778 – 70. По месту отдельных сульфидных включений встречаются единичные включения нитридов титана в виде кристаллов светло-розового цвета различной формы. Выявлен один пластичный силикат, выявленный на шлифе, длиной 135 мкм.

Микроструктуру металла изучали на поперечных шлифах, вырезанных из головки, средней части шейки, средней части подошвы рельсов и из перьев после травления в 4 %-ном спиртовом растворе азотной кислоты. При просмотре нетравленных шлифов со стороны поверхности катания головки рельса наблюдаются нарушения сплошности в виде извилистых трещин глубиной до 1,1 мм (рис. 4). Полости трещин частично заполнены однородной серой массой, представляющей собой продукты коррозии.

После химического травления шлифов в 4 %-ном спиртовом растворе азотной кислоты по кромкам трещин наблюдается структура с деформированными зернами, обезуглероживание отсутствует. Со стороны рабочей поверхности головки структура деформирована, местами наблюдается слой наклепанного металла толщиной до 0,065 мм, образовавшийся в результате эксплуатации.

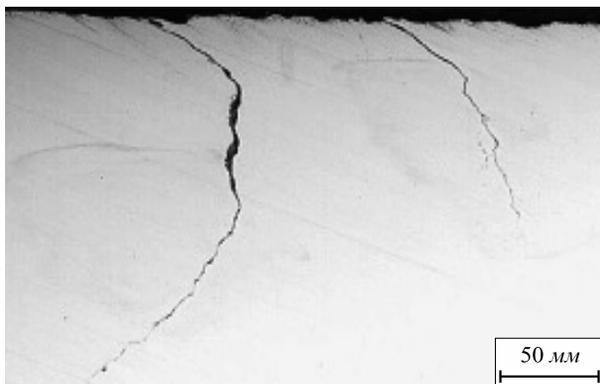


Рис. 4. Трещины в головке рельса

Fig. 4. Cracks in the head of rails

Микроструктура металла во всех элементах профиля представляет сорбитообразный и пластинчатый перлит и характерна для дифференцированно термоупрочненного состояния, степень дисперсности которого по мере удаления от поверхности головки уменьшается. Микроструктура металла, выявленная в подошве по месту пониженной твердости, состоит из пластинчатого и зернистого перлита.

Выводы. Проведенное металлографическое исследование рельса типа Р65 японского производства после эксплуатации на Восточно-Сибирской железной дороге выявило, что по химическому составу металл пробы удовлетворяет требованиям ТУ 0921-239-01124323 – 2007, предъявляемым к стали для производства рельсов 350ЛДТ. Макроструктура металла удовлетворительная. Механические свойства при растяжении, твердость, ударная вязкость при температуре +20 °С, определенные на образцах, вырезанных из нерабочей выкружки головки, также удовлетворяют этим требованиям. Повышенная твердость на поверхности катания головки рельсовой пробы (404 HB) и пониженная ударная вязкость при температуре +20 °С (8,6 – 12,0 Дж/см²), определенные на образцах, вырезанных из рабочей выкружки головки, обусловлены наклепом поверхностных слоев металла рельса при эксплуатации. Твердость на поверхности основания подошвы, измеренная на произвольно выбранном участке по длине пробы, в основном составляет 35,2 – 37,8 HRC (342,8 – 366,2 HB), также наблюдаются участки с пониженной твердостью до 23,3 – 29,2 HRC (251,8 – 291,6 HB). Загрязненность рельса неметаллическими включениями незначительная. Однако встречаются недопустимые включения экзогенного характера (глобулярное включение диам. 10 мкм). Микроструктура – сорбитообразный и пластинчатый перлит, дисперсность которых по мере удаления от поверхности во всех элементах рельсовых проб уменьшается. При эксплуатации рельса образовались тонкие косые трещины глубиной до 1,1 мм, расположенные на поверхности рабочей выкружки головки, а также значительный боковой износ до 15 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рельсы из электростали / Н.А. Козырев, В.В. Павлов, Л.А. Годиц, В.П. Дементьев. – Новокузнецк: Новокузнецкий полиграфкомбинат, 2006. – 388 с.
2. Виноград М.И., Громова Г.П. Включения в легированных сталях и сплавах. – М.: Металлургия, 1971. – 216 с.
3. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Инокулирование железо-углеродистых расплавов. – М.: Металлургия, 1993. – 416 с.
4. Еланский Д.Г. Тенденции развития электросталеплавильного производства // Электрометаллургия. 2001. № 5. С. 3 – 18.
5. Поляков В.В., Великанов А.В. Основы технологии производства железнодорожных рельсов. – М.: Металлургия, 1990. – 416 с.
6. Mengwen Yu, Keping Ji. Development of Heavy Rail Production Technology at Panzhihua Iron and Steel Co. – In book: Proceedings of International Symposium on Exploitation and Utilization of Vanadium. – Panzhihua, China. Beijing. The Metallurgical Industry Press. 1985. P. 358 – 366.

7. Klisiewicz Z. Wytwarzanie staly na Szyuu o podwyz szonych Wlasnosciach wytuzymalosuowych w Kouwertonach tlenowych z zastosowacuem obnoki prozniowej cieklej stali // *Hutnik*. 1987. Vol. 53. No. 3. P. 62 – 64.
8. Стали для рельсов высокоскоростных линий // *Железные дороги мира*. 2000. № 8. С. 67 – 70.
9. Шпис Х.И. Поведение неметаллических включений в стали при кристаллизации и деформации. – М.: *Металлургия*, 1971. – 126 с.
10. Шульте Ю.А. Неметаллические включения в электростали. – М.: *Металлургия*, 1964. – 207 с.
11. Шур Е.А. Повреждения рельсов. – М.: *Транспорт*, 1971. – 112 с.
12. Дефекты и качество рельсовой стали / В.В. Павлов, М.В. Темлянцева, Л.В. Корнева и др. – М.: *Теплотехник*, 2006. – 218 с.
13. Производство и термическая обработка железнодорожных рельсов / В.В. Лемпицкий, Д.С. Казарновский, С.В. Губерт и др. – М.: *Металлургия*, 1972. – 272 с.
14. Козырев Н.А. Основные направления производства рельсов низкотемпературной надежности // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2011. № 4. С. 31 – 34.
15. Снитко Ю.П., Галямов А.Х., Никитин С.В. Современное состояние производства рельсов за рубежом. – В кн.: *Материалы юбилейной рельсовой комиссии 2002 г. – Новокузнецк: ОАО «Новокузнецкий полиграфкомбинат»*, 2002. С. 10 – 30.

Поступила 28 апреля 2016 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2016. VOL. 59. NO. 6, PP. 402–408.

RESULTS OF THE USE OF IMPORT RAILS IN THE EAST SIBERIAN RAILWAY

V.P. Dement'ev¹, S.V. Feiler¹, D.V. Boikov², N.A. Kozыrev¹, E.V. Polevoi²

¹Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

²OJSC "EVRAZ - Joint West Siberian Metallurgical Plant", Novokuznetsk, Russia

Abstract. Metallographic examination of a rail of R65 type produced in Japan has been conducted after its use in the East-Siberian Railway has been conducted. It has been shown that, as for the chemical composition, the metal sample meets the requirements of the specifications of TU 0921-239-01124323 – 2007 specified for steel for production of rails 350LTD. Metal macrostructure quality is satisfactory. Tensile properties, cross-section hardness, and impact strength at temperature +20 °C determined in the samples cut out from the rail head rounding-out having no contact with the wheel meet the requirements of the specifications of TU 0921-239-01124323 – 2007 for rails 350LTD. However, impact strength at sub-zero temperatures does not comply with the quality of domestic rails for low-temperature service. Nonmetallic inclusion content is not significant, however unallowable inclusions of exogenous nature have been found. The microstructure of the sample of rail produced in Japan is sorbitic and lamellar pearlite, which dispersity decreases with the increase of the distance from the surface in all elements of rail samples. When in service, slanting line cracks to 1.1 mm in depth were located on the surface of the rail head rounding-out having contact with the wheel and also considerable side wear amounted up to 15 mm.

Keywords: rails, rolling, non-metallic inclusions, thermal treatment, mechanical properties, service durability.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-6-402-408

REFERENCES

1. Kozыrev N.A., Pavlov V.V., Godik L.A., Dement'ev V.P. *Rel'sy iz elektrostali* [Rails from electric steel]. Novokuznetsk: ОАО "Novokuznetskii Poligrafkombinat", 2006, 388 p. (In Russ.).
2. Vinograd M.I., Gromova G.P. *Vklyucheniya v legirovannykh stalyakh i splavakh* [Inclusions in alloyed steel and alloys]. Moscow: *Металлургия*, 1971, 216 p. (In Russ.).
3. Gol'dshtein Ya.E., Mizin V.G. *Inokulirovanie zhelezo-uglerodistykh rasplavov* [Inoculation of iron-carbon melts]. Moscow: *Металлургия*, 1993, 416 p. (In Russ.).
4. Elanskii D.G. Development tendency of electric steel-making. *Elektrometallurgiya*. 2001, no. 5, pp. 3–18. (In Russ.).
5. Polyakov V.V., Velikanov A.V. *Osnovy tekhnologii proizvodstva zheleznodorozhnykh rel'sov* [Bases of rail production technology]. Moscow: *Металлургия*, 1990, 416 p. (In Russ.).
6. Mengwen Yu, Kebing Ji. Development of heavy rail production technology at Panzhihua Iron and Steel Co. *Proceedings of Inter-*

national Symposium on Exploitation and Utilization of Vanadium. Panzhihua, China. Beijing. The Metallurgical Industry Press. 1985, pp. 358–366.

7. Klisiewicz Z. Wytwarzanie staly na Szyuu o podwyz szonych Wlasnosciach wytuzymalosuowych w Kouwertonach tlenowych z zastosowacuem obnoki prozniowej cieklej stali. *Hutnik*. 1987, vol. 53, no. 3, pp. 62–64.
8. Steel for rails of high-speed lines. *Zheleznye dorogi mira*. 2000, no. 8, pp. 67–70. (In Russ.).
9. Spies Heinz-Joachim. *Verhalten von nichtmetallischen Einschlussen im Stahl bei der Erstarrung und Umformung*. Deutscher Verl. f. Grundstoffindustrie VEB, 1968, 106 S. (Russ.ed.: Spies H.-J. *Povedenie nemetallicheskih vklyuchenii v stali pri kristallizatsii i deformatsii*. Moscow: *Металлургиздат*, 1971, 122 p.).
10. Shul'te Yu.A. *Nemetallicheskie vklyucheniya v elektrostali* [Non-metallic inclusions in electric steel]. Moscow: *Металлургия*, 1964, 207 p. (In Russ.).
11. Shur E.A. *Povrezhdeniya rel'sov* [Rail damage]. Moscow: *Транспорт*, 1971, 112 p. (In Russ.).
12. Pavlov V.V., Temlyantsev M.V., Korneva L.V., Oskolkova T.N., Gavrilov V.V. *Defekty i kachestvo rel'sovoi stali* [Defects and quality of rail steel]. Moscow: *Теплотехник*, 2006, 218 p. (In Russ.).
13. Lempitskii V.V., Kazarnovskii D.S., Gubert S.V. etc. *Proizvodstvo i termicheskaya obrabotka zheleznodorozhnykh rel'sov* [Production and thermal treatment of rails]. Moscow: *Металлургия*, 1972, 272 p. (In Russ.).
14. Kozыrev N.A. Main development trends for low temperature operate reliability rails production. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2011, no. 4, pp. 31–35. (In Russ.).
15. Snitko Yu.P., Galyamov A.Kh., Nikitin S.V. Modern state of rail production abroad. In: *Materialy yubileinoi rel'sovoi komissii 2002 g.* [Proceedings of jubilee rail commission 2002]. Novokuznetsk: ОАО "Novokuznetskii poligrafkombinat", 2002, pp. 10–30. (In Russ.).

Information about the authors:

V.P. Dement'ev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair of Ferrous Metallurgy (mchmsis@mail.ru)

S.V. Feiler, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Chair of Ferrous Metallurgy (mchmsis@mail.ru)

D.V. Boikov, Cand. Sci. (Eng.), Head of Steel-Making Bureau (Dmitry.Bojkov@evraz.com)

N.A. Kozыrev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production" (kozыrev_na@mtsp.sibsiu.ru)

E.V. Polevoi, Head of the Bureau of Physical Metallurgy and Thermal Treatment of the Technical Department of Rail Area (Egor.Polevoj@evraz.com)

Received April 28, 2016