

А. С. Рудюк, А. А. Азаркевич, Ю. А. Восковец, А. В. Дурасов

Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь», Харьков

Эксплуатационные испытания рельсов из кислородно-конвертерной стали марки К76Ф производства ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» на железных дорогах Украины

Приведены предварительные результаты эксплуатационных испытаний рельсов типа Р65 из кислородно-конвертерной стали марки К76Ф производства ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» на железных дорогах Украины. Проведено исследование износостойкости рельсов на кривых участках пути.

Ключевые слова: кислородно-конвертерная сталь, рельсы, грузонапряженность, эксплуатационная стойкость, пропущенный тоннаж, кривые участки пути

Сотрудники ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» совместно с ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» разработали и освоили технологию производства стали в кислородных конвертерах. В мае 2011 г. осуществили переход с выплавки рельсовой стали марки М76Т в мартеновских печах на выплавку стали марки К76Ф в кислородных конвертерах с последующей внепечной обработкой стали на установке ковш-печь и разливкой стали сифонным способом в изложницы. Термоупрочненные рельсы типа Р65 из кислородно-конвертерной стали по всем показателям качества полностью удовлетворяют требования ДСТУ 4344 [1-3].

Для определения уровня металлургического качества этих рельсов, их эксплуатационной стойкости, интенсивности накопления бокового износа на кривых участках пути ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» совместно с ГП «Укрзалізниця», согласно положениям методики и программы испытаний, проводят квалификационные испытания рельсов, остряковых рельсов, накладок и подкладок, изготовленных из кислородно-конвертерной стали.

Общая протяженность главных путей железных дорог Украины составляет 29,5 тыс. км. Протяженность путей с исследуемыми рельсами из конвертерной стали марки К76Ф составляет 766,3 км, или 2,6 % общей протяженности главных путей. Рас-

пределение этих рельсов по каждой железной дороге и их изъятие с начала эксплуатации приведены в табл. 1.

Для установления эффективности освоенной новой технологии производства рельсов в табл. 2 приведено сравнение изъятия рельсов из кислородно-конвертерной стали с начала их эксплуатации и рельсов из мартеновской стали, изъятых из главных путей железных дорог Украины в 2010 г. при пропущенном тоннаже до 50 млн. т брутто.

Начальная стадия эксплуатации рельсов из кислородно-конвертерной стали на отдельных дорогах выявила раннее изъятие таких рельсов, в основном, по дефектам сварки (дефект 26,3 – 3 шт, 56,3 – 2 шт, 66,3 – 2 шт).

Изъятие рельсов из стали мартеновского производства марки М76Т по отдельным дорогам с уточнением места изъятия приведено в табл. 3.

Общая протяженность участков пути в кривых малых радиусов (до 650 м) для магистральных путей железных дорог Украины составляет свыше 3300 км (11,4 %). Наиболее насыщены такими кривыми главными путями Львовской железной дороги – 28,8 % общей протяженности. Диаграмма распределения кривых участков пути радиусом меньше 650 м на главных путях железных дорог Украины показана на рис. 1.

Таблица 1

Характеристика главных путей железных дорог Украины

Железная дорога	Общая протяженность главных путей L, км			Протяженность рельсов из кислородно-конвертерной стали		Количество дефектных (Д) и остродефектных (ОД) рельсов из кислородно-конвертерной стали, шт	
	всего	в т. ч. производства ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»					
		км	%	км	%	Д	ОД
Донецкая	4303,5	3303,0	76,8	74,0	1,7	1	–
Львовская	5423,3	4183,3	77,2	90,3	1,7	–	8
Одесская	5323,2	4493,3	84,4	125,3	2,4	16	4
Приднепровская	4361,8	3750,6	86,0	69,4	1,8	–	–
Юго-Западная	6082,2	4487,0	73,8	217,3	3,6	13	3
Южная	4045,0	3135,0	77,5	190,0	4,7	–	–
Всего	29539,0	23352,2	79,1	766,3	2,6	30	15

Изъятие рельсов из мартеновской и кислородно-конвертерной сталей на начальной стадии эксплуатации из главных путей железных дорог Украины при пропущенном тоннаже до 50 млн. т брутто

Рельсы из стали марки К76Ф				Рельсы из стали марки М76Т			
Характеристика рельса		Код дефекта	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Характеристика рельса		Код дефекта	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто
A-XI-11	КФ722	26.3	0,2	A-09		21	6,0
A-XI-11	КФ893	60.2	2,0	A-09		21	6,0
A-I-12	КФ9	26.3	3,0	A-XI-09	МТР548	24	6,8
A-VII-11	КФ84	56.3	4,9	A-09		44.2	7,0
A-IX 11	КФ449	56.3	5,7	A-09		44.2	7,0
A-VIII-11	КФ329	66.3	7,0	A-09	М512	10.2	11,6
A-VI-11	КФ214	26.3	12,9	A-X-09	МТС534	26.3	12,45
A-VIII-11	КФ360	99.2	13,0	A-01	ГПИ483	99	20,0
A-V-11	КФ114	66.3	15,8	A-IX-09		62	20,14
A-II-12	КФ170	30Г.2	17,0	A-06	389Г	55.2	20,3
A-XII-11	КФ825	52.1	30,0	A-II-08	ГП553Р	69	22,0
A-IX-11	КФ450	10.2	49,0	A-08	ГП901А	21.2	24,0
				A-08	ГП901А	21.2	24,0
				A-IV-09	МТ814У	21	26,0
				A-05	ГПТ159	21.2	28,0
				A-V-07	ГП598К	99.2	29,9
				A-08	ГП031Е	17.2	30,7
				A-I-08	МТ109И	53.1	34,1
				A-07	ГПХ313	17.1	34,2
				A-IX-06	МТ484В	27.2	43,0
				A-VII-09	МТ870Ф	99	45,0

Таблица 3

Общее изъятие рельсов типа Р65 из стали марки М76Т мартеновского способа производства ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» производства 2000-2010 гг. на железных дорогах Украины за 2010 г.

Участки			Км-ПК-зв.	Вид пути (звеньевой/ бесстыковой)	t, млн. т км брутто/км в год	Рельсы (год производства, номер плавки)		Т, млн. т брутто	Код дефекта	Износ, h ₆	Профиль	План
ПЧ	направление	путь				7	8					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Донецкая ж. д.												
20	Волноваха – Доля	чет	1185-10-4	б/с	29,53	A-X-09	МТС534	12,45	26.3	0	пр	-
			1186-7-2			A-IX-09		20,14	62	0	пр	-
Львовская ж. д.												
4	Оброшин – Самбор	одн.	4-5-2	зв	5,0	A-05	ГПТ159	28,0	21	5	Р690	у-5.8
5	Лавочне – Стрый	чет.	1619-2-1	зв	14,15	A-09		7,0	44.2	14	Р224	п-9,9
			1619-2-2			A-09		7,0	44.2	15		п-10,4
	Стрый – Дрогобыч	одн.	25-10-4	зв	6,0	A-09		6,0	21	0	Р918	у-21,0
		24-7-3	A-09				6,0	21	0	пр	у-14,0	
18	Ходоров – Стрый	одн.	134-3-4	б/с	2,0	A-01	ГПИ483	20,0	99	0	пр	-
Одесская ж. д.												
3	Мигаево – Котовск	чет.	1351-10-3	зв	15,0	A-II-08	ГП553Р	22,0	69	0	пр	п-1,3
			1350-8	б/с		A-08	ГП901А	24,0	21.2	0	пр	с-8,3
			1350-10			A-08	ГП901А	24,0	21.2	0	пр	с-2,4
4	Б. Днестровский – Арцыз	одн.	123-8	б/с	13,8	A-XI-09	МТР548	6,8	24	0	пр	у-13,4
13	Колосовка – Поможная	н/ч	1096-1-1	зв	62,5	A-IV-09	МТ814У	26,0	21	0	пр	п-0,5
			1112-3-3	б/с		A-VII-09	МТ870Ф	45,0	99	3	пр	с-8,4

На рис. 2 представлена диаграмма изъятия рельсов по боковому износу (дефект 44) на Львовской железной дороге с 2002 по 2012 г. как наиболее характерного для полигона кривых малых радиусов. Изъятие по этому дефекту составляет в среднем ~30 %

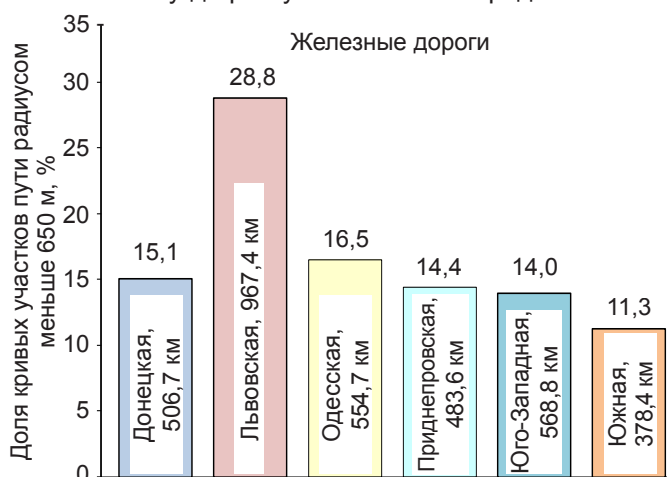


Рис. 1. Распределение кривых участков пути радиусом менее 650 м на железных дорогах Украины

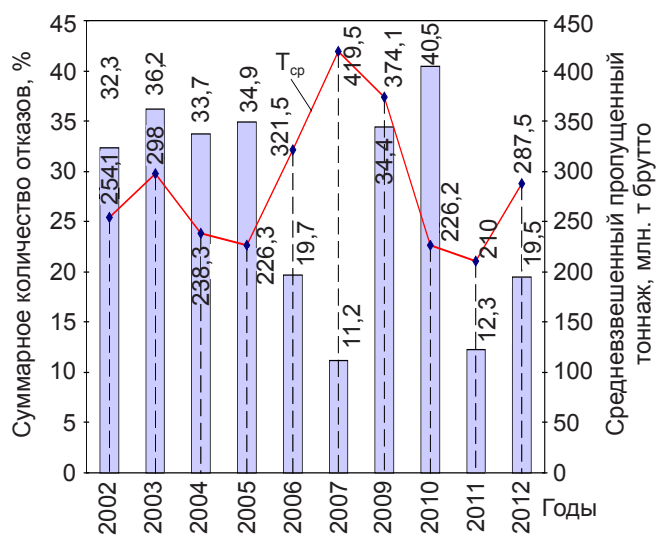


Рис. 2. Динамика изменения доли общего изъятия рельсов типа Р65 из главных путей Львовской железной дороги по боковому износу (дефект 44) и наработки пропущенного тоннажа до изъятия

общего выхода рельсов на дороге по различным дефектам. Максимальная доля изъятия по износу в 2010 г. – 40,5 % (924 шт).

На некоторых опытных участках Львовской железной дороги сотрудники ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» проводили инструментальные замеры бокового износа рельсов в кривых малого радиуса. Рельсы в кривых участках пути эксплуатируются в следующих условиях: бесстыковой и звеньевой путь, скорость движения поездов – от 40 до 140 км/ч, радиусы кривых от 240 до 650 м.

Анализируя рассматриваемые кривые, провели комплексные исследования параметров рельсовой колеи: определяли возвышение наружного рельса, ширину колеи, боковой износ рельсов наружной нити.

Состояние рельсов на опытных исследуемых кривых путей в зависимости от степени изношенности различное. На кривых малого радиуса после пропуска около 30-50 млн. т груза при накоплении износа на боковой грани наружного рельса вырабатывается полка (рис. 3), что значительно изменяет условия контакта колеса с рельсом.

При исследованиях выявили существенную зависимость интенсивности накопления бокового износа рельсов от кривизны пути (радиуса кривой), твердости рельсов (по сечению и длине рельса),

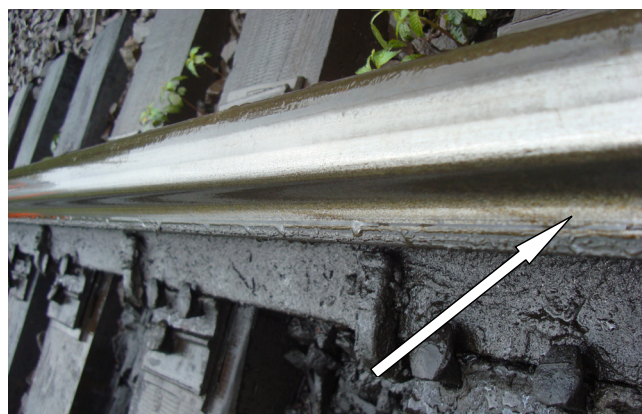


Рис. 3. Боковой износ рельсов типа Р65 из кислородно-конвертерной стали, эксплуатируемых на Мукачевской дистанции пути

Таблица 4

Интенсивность накопления бокового износа рельсов типа Р65 из стали марки М76Т мартеновского способа производства ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» в кривых малых радиусов на Львовской железной дороге (по данным дистанций пути в ПУ-4 за 2010 г.)

Участки			Вид пути (зв., б/с)	t, млн. т км брутто/км в год	Начало-конец кривой (км-ПК-зв.)	План (радиус кривой, м)	Профиль	Рельсы (год производства)	T, млн. т брутто	Износ		Интенсивность накопления бокового износа, мм/млн. т брутто
ПЧ	направление	путь								h _в	h _б	
1	Львов – Мостиска	н/ч	б/с	5,0	1-ПК7-3 – ПК9-2	Р238	пл.	А-00	97	2	11	0,11
		чет.		4,0	1-ПК7-1-ПК9-1	Р206	пл.	А-00	73	2	10	0,14
4	Оброшин – Самбор	одн.	зв	5,0	4-ПК8	Р690	у-5.8	А-05	28	0	5	0,18
5	Стрый – Лавочное	н/ч	зв	32,3	1625-ПК1-1-ПК2-4	Р229	п-8.5	А-07	92	0	17	0,17
					1626-ПК2-1-ПК4-2	Р316	п-7.2	А-07	92	0	10	0,15
					1626-ПК5-2-ПК7-4	Р253	п-9.0	А-07	92	0	18	0,20
					1626-ПК9-3-ПК10-4	Р266	п-17.0	А-07	92	0	15	0,16
14	Лавочное – Мукачево-Чоп	н/ч	б/с	35,0	1630-ПК1-ПК2	Р268	п-22.6	А-07	65	3	21	0,32
					1632км ПК2-ПК10	Р260	п-21.7	А-07	65	2	22	0,34

Интенсивность накопления бокового износа рельсов типа Р65 из кислородно-конвертерной стали марки К76Ф производства ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» в кривых малых радиусов на железных дорогах Украины

ПЧ	Опытный участок				t , млн. т км брутто/км в год	Протяжен- ность, L , км	T , млн. т брутто	Боковой износ $h_{\text{б}}$, мм	Интенсив- ность боко- вого износа $I_{\text{бок}}$, мм/млн. т брутто
	направление, перегон, станция	путь	начало – конец кривой (км, ПК)	радиус, м					
Львовская ж. д.									
5	Лавочное–Бескид	н/ч	1631-ПК8 – 1632-ПК3	290, 268, 260	32,0	0,45	18,1	4,3	0,24
			1632-ПК8 – 1633-ПК1	300, 246		0,19	18,1	5,4	0,28
			1633-ПК5 – ПК9	269, 254,270		0,66	44,2	13,3	0,30
			1634-ПК3 – ПК7	255		0,37	33,5	10,9	0,32
	Скотарск–Воловец	чет.	1647-ПК3 – ПК8	294, 309	16,0	0,49	39,1	9,8	0,25
Одесская ж. д.									
22	Ильичевск – Ильичевск Порт		10-ПК4 – ПК9	235, 304,270	18,2	0,5	12,1	3,8	0,31
	Одесса-Пересыпь – Одесса-Порт		2-ПК6 – 3-ПК4	393	13,1	0,8	8,2	1,9	0,23
	Черноморская – Береговая		11-ПК9 – 12-ПК8	800	56,5	0,8	32,9	3,0	0,09

возвышения наружного рельса и осевой нагрузки вагонов. По длине кривой боковой износ происходит неравномерно – в переходных кривых он несколько меньше.

Выполнен сравнительный анализ бокового износа рельсов типа Р65, закаленных по поверхности катания, из мартеновской стали с рельсами типа Р65, закаленными по поверхности катания, из кислородно-конвертерной стали. В табл. 4 приведены данные по интенсивности накопления бокового износа в кривых различных радиусов рельсов типа Р65 из стали марки М76Т мартеновского способа производства.

Для рельсов из кислородно-конвертерной стали, уложенных на этих же участках, проводили аналогичные измерения, в среднем, через 5 млн. т брутто. Необходимо отметить, что объективное сравнение по интенсивности накопления бокового износа возможно проводить при одинаковом пропущенном тоннаже не менее 5 млн. т брутто (после обкатки), так как начальная стадия эксплуатации связана со снятием обезуглероженного слоя головки закаленного рельса и ее пластической деформации. Результаты измерения бокового износа рельсов из кислородно-конвертерной стали представлены в табл. 5.

На рис. 4, 5 приведены сравнительные анализы результатов измерения бокового износа и расчета интенсивности износа рельсов

из мартеновской и кислородно-конвертерной сталей в зависимости от пропущенного тоннажа для кривой радиусами 255 м на 1634 км (рис. 4) и составной кривой радиусами R-269, 254, 270 м на 1633 км нечетного пути направления Лавочное – Бескид (рис. 5).

Высокий уровень изъятия рельсов по достижению бокового износа головки предельно допустимых значений (дефект 44) и необходимость его снижения определили актуальность повышения износостойкости рельсов в условиях эксплуатации Львовской железной дороги.

С целью повышения износостойкости рельсов, выпускаемых ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ», разработали

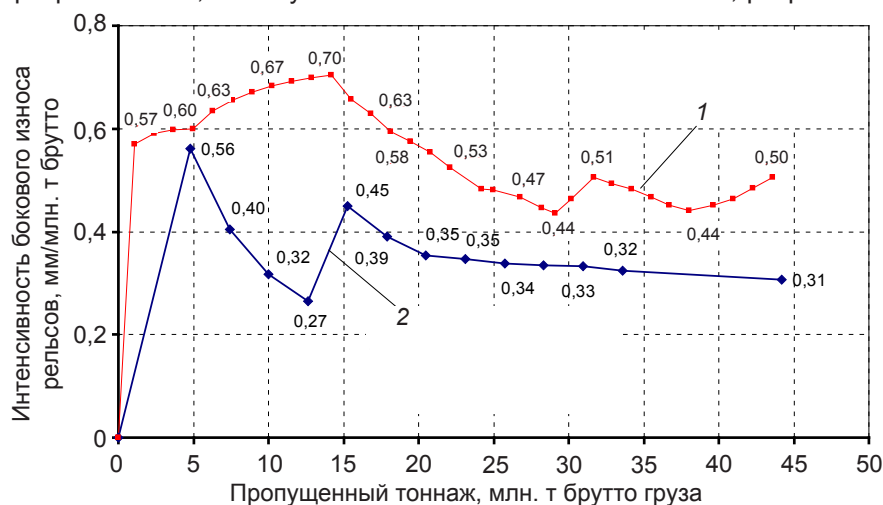


Рис. 4. Интенсивность бокового износа рельсов, закаленных по поверхности катания, из мартеновской и кислородно-конвертерной сталей в зависимости от пропущенного тоннажа в кривой радиусом 255 м (1634 км + 310 м + 1634 км + 680 м): 1 – рельсы из мартеновской стали, уложенные 03.08.2005 г. в кривую на 1634 км ПК4-6, 13 шт (радиус кривой – 255 м); 2 – рельсы из конвертерной стали, плавки: КФ629, 618, 701, 663, 589, 620, 700 уложенные в декабре 2011 г. в кривую на 1634 км + 310 м + 1634 км + 680 м (радиус кривой – 255 м)

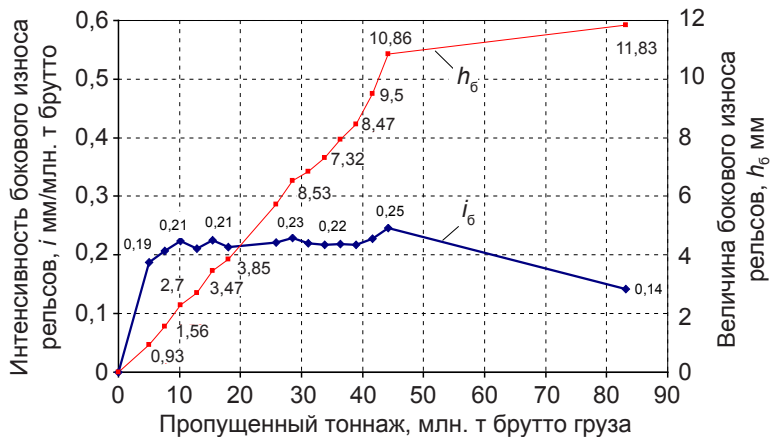


Рис. 5. Боковой износ (h_6) и интенсивность его накопления (i_6) рельсов типа Р65, закаленных по поверхности катания, из кислородно-конвертерной стали в зависимости от пропущенного тоннажа в составной кривой радиусами 269, 254, 270 м (1633 км + 468 м + 1633 км + 925 м)

технологію виробництва термоупрочнених рельсов типу Р65 із сталі марки К76Ф, закалених по поверхності катання і боковим граням, призначених для укладки на кривих ділянках шляху з радіусом менше 1000 м, де основним параметром, що визначає довговічність рельсов, є знос бокових граней головки. Твердість закалених бокових граней знаходиться в межах 329-373 НВ (без закалки бокових граней – 280 НВ). За даними рельсами встановлено спостереження. Попередні випробування експериментальних партій рельсов із мартеновської сталі,

які характеризуються високим рівнем інтенсивності накоплення бокового износа (до 0,34 мм / млн. т бруutto), що обумовило розробку технології виробництва термоупрочнених рельсов типу Р65 із сталі марки К76Ф, закалених по поверхності катання і боковим граням.

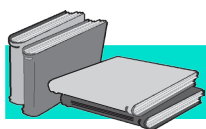
3. На кривих ділянках шляху відправлені перші експериментальні партії рельсов із кислородно-конвертерної сталі, закалених по поверхності катання і боковим граням. За даними рельсами встановлено спостереження.

закалених по такій технології, показали збільшення довговічності в 1,15-1,20 рази.

Выводы

1. Годовое изъятие рельсов на начальной стадии эксплуатации (наработка до 50 млн. т бруutto) из мартеновской стали в 1,5 раза превышает аналогичное изъятие рельсов из кислородно-конвертерной стали.

2. На кривых участках пути (радиусом менее 650 м) рельсы, закаленные по поверхности катания, из мартеновской и кислородно-конвертерной сталей в условиях Львовской железной дороги характеризуются



ЛИТЕРАТУРА

1. Внедрение технологии выплавки рельсовой стали в кислородном конвертере – эффективный путь ресурсосбережения при производстве и эксплуатации транспортного металла / Д. В. Сталинский, В. А. Ботштейн, А. С. Рудюк и др. // Экология и промышленность. – 2012. – № 4 (33). – С. 98-103.
2. О некоторых аспектах энерго- и ресурсосберегающей технологии производства транспортного металла / А. С. Рудюк, А. В. Антоненко, А. В. Барабаш, А. В. Дурасов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2012. – № 46 (952). – С. 169-176.
3. Зміни структури пошкоджень рейок на залізницях України / О. С. Рудюк, А. А. Азаркевич, Ю. О. Восковець та ін. // Залізничний транспорт України. – 2012. – № 3/4. – С. 56-61.

Анотація

Рудюк О. С., Азаркевич А. А., Восковець Ю. О., Дурасов А. В.

Експлуатаційні випробування рейок із киснево-конвертерної сталі марки К76Ф виробництва ПАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ» на залізницях України

Наведено попередні результати експлуатаційних випробувань рейок типу Р65 із киснево-конвертерної сталі марки К76Ф виробництва ПАТ «МК «Азовсталь» на залізницях України. Проведено дослідження зносостійкості рейок на кривих ділянках колії.

Ключові слова

киснево-конвертерна сталь, рейки, вантажонапруженість, експлуатаційна стійкість, пропущений тоннаж, криві ділянки колії

Summary

Rudyuk A. S., Azarkevich A. A., Voskovets Yu. A., Durasov A. V.

Operating tests for rails made of basic oxygen steel K76F manufactured by «МС «АЗОВСТАЛ» PJSC at railways of Ukraine

There are provided preliminary results of operating tests for R65 rails made of basic oxygen steel of K76F mark manufactured by «МС «Azovstal» PJSC at railways of Ukraine. The rail durability at curved segments was investigated.

Keywords

basic oxygen steel, rails, traffic density, operation durability, transit tonnage, curved segments

Поступила 01.06.13

УДК 669.141.245

**А. С. Рудюк, А. А. Азаркевич, А. Д. Лебедев, Е. С. Попов*, Е. В. Гончаренко*,
О. И. Труфанова***

Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь», Харьков

*ПАО «Металлургический комбинат «АЗОВСТАЛЬ», Мариуполь

Повышение качества и расширение сортамента закаленных рельсов из конвертерной стали

Представлены требования к качеству рельсов, основные элементы оборудования и технологии поверхностной закалки рельсов типов Р65 и UIC60 из стали марки К76Ф в рельсозакалочной машине рельсобалочного цеха ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ». Проанализировано различие рельсов типов Р65 и UIC60. Показано, что наибольшую твердость по сечению закаленного слоя головки имеют рельсы, закаленные по поверхности катания и боковым граням головки. Разработана технология закалки рельсов типа Р65 по поверхности катания и боковым граням головки и рельсов типа UIC60 по поверхности катания.

Ключевые слова: сталь, рельсы, тип, закалка, водовоздушная смесь, воздух, самоотпуск, твердость, механические свойства

До 2011 г. в ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» рельсы производили из мартеновской стали марки М76Т, при этом рельсы типа Р65 подвергали закалке в рельсозакалочной машине (РЗМ) с нагрева токама высокой частоты (ТВЧ) [1].

Технология закалки рельсов в РЗМ включает стыковку рельсов в непрерывную движущуюся нить, нагрев ТВЧ головки рельсов, регулируемое первичное охлаждение головки, последующий разогрев охлажденного поверхностного слоя головки за счет тепла внутренних слоев (самоотпуск в течение ~35 с) и окончательное вторичное охлаждение водой.

При прохождении рельсов через РЗМ головку рельсов последовательно нагревают в трех секциях индукторов до температуры закалки, после чего поверхность катания головки охлаждают водовоздушной смесью в системе первичного охлаждения, состоящей из шести коллекторов. Максимальный расход воды на коллектор первичного охлаждения составляет 6,7 л/мин. При необходимости произво-

дят также охлаждение боковых граней головки воздухом.

Одним из основных показателей качества рельсов является их твердость, с повышением которой увеличивается износостойкость.

Эксплуатация рельсов типа Р65 из стали марки М76Т, закаленных по поверхности катания и боковым граням, показала, что за счет повышения твердости боковых граней скорость их износа в ~1,7 раза ниже по сравнению с рельсами, закаленными только по поверхности катания [2].

Требования к рельсам, закаленным только по поверхности катания (ДСТУ 4344), представлены в табл. 1.

В 2011 г. ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» и ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» освоили производство рельсов типа Р65, закаленных по поверхности катания из конвертерной стали марки К76Ф [3]. В 2012 г. начали разработку технологии производства рельсов типа Р65 из стали марки К76Ф, закаленных по поверхности