

УДК 625.14:621.771.2.06

Д.В. СТАЛИНСКИЙ, докт. техн. наук, профессор, генеральный директор,
В.А. БОТШТЕЙН, первый заместитель генерального директора,
А.С. РУДЮК, канд. техн. наук, заместитель генерального директора,
Г.С. ГАХЕЛАДЗЕ, заместитель директора структурного подразделения,
А.А. АЗАРКЕВИЧ, канд. техн. наук, заведующий отделом,
А.В. АНТОНЕНКО, главный специалист, **А.В. ДУРАСОВ**, инженер

Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности
«Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ – ЭФФЕКТИВНЫЙ ПУТЬ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО МЕТАЛЛА

Рассмотрены основные возможности использования ресурсосберегающих технологий по повышению эксплуатационной стойкости и срока службы рельсов в совместной деятельности металлургической и железнодорожной отраслей. Усовершенствована схема производства транспортного металла из кислородно-конвертерной стали.

Ключевые слова: рельсы, грузонапряженность, эксплуатационная стойкость, срок службы, пропущенный тоннаж, дефекты, конвертер, сталь, термообработка, неметаллические включения, лубрикация.

Железные дороги Украины, являющиеся наиболее экономичным видом транспорта, обеспечивающего 85 % общего грузооборота страны, и в XXI веке сохраняют свою приоритетную роль. Длина железнодорожных путей Украины составляет более 56 тыс. км, а по удельной плотности перевозок страна занимает 6-е место в мире.

В железнодорожной отрасли наиболее фондоемким и затратным является путевое хозяйство. На элементы верхнего строения пути (ВСП) – рельсы и рельсовые скрепления, стрелочные переводы, приходится до 40 % общепромышленных затрат. Потребление железными дорогами рельсовой стали составляет около 150–200 тыс. т в год. При этом значительное количество рельсов ежегодно изымают из пути вследствие износа или образования внутренних или поверхностных дефектов (отслоения, выкрашивания и поперечные трещины в головке рельса, имеющие контактно-усталостное происхождение).

Для оценки эксплуатационной стойкости рельсов и определения эффективности технологических мероприятий по повышению их металлургического качества ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» ежегодно проводит статистический анализ. Исходными данными для анализа являются отчетные данные об изъятии из пути дефектных и остродефектных рельсов разной технологии производства. Повреждаемость такими дефектами связана

с уровнем металлургического качества и эксплуатации рельсов, что и определяет необходимость перехода к ресурсосберегающим технологиям при производстве и эксплуатации рельсов.

В железнодорожной и металлургической отраслях имеются значительные возможности экономии металла на базе ресурсосберегающих технологий. В совместной деятельности этих отраслей по повышению надежности и срока службы рельсов ресурсосберегающие мероприятия взаимосвязаны и объединены в группы: технологические, конструктивные и эксплуатационно-технические (рис. 1).

Совокупность ресурсосберегающих мероприятий при эксплуатации рельсов можно представить следующим образом:

1. Повторное использование материалов верхнего строения пути предусматривает следующее:

- переукладку рельсовых плетей без разрезки (смена рабочей грани головки рельса);
- применение рельсошпальной решетки с железобетонными шпалами;
- укладку старогодных рельсов с репрофилированной головкой;
- применение металлических частей стрелочных переводов, подкладок, накладок.

2. Использование новых технических (конструктивных) решений:

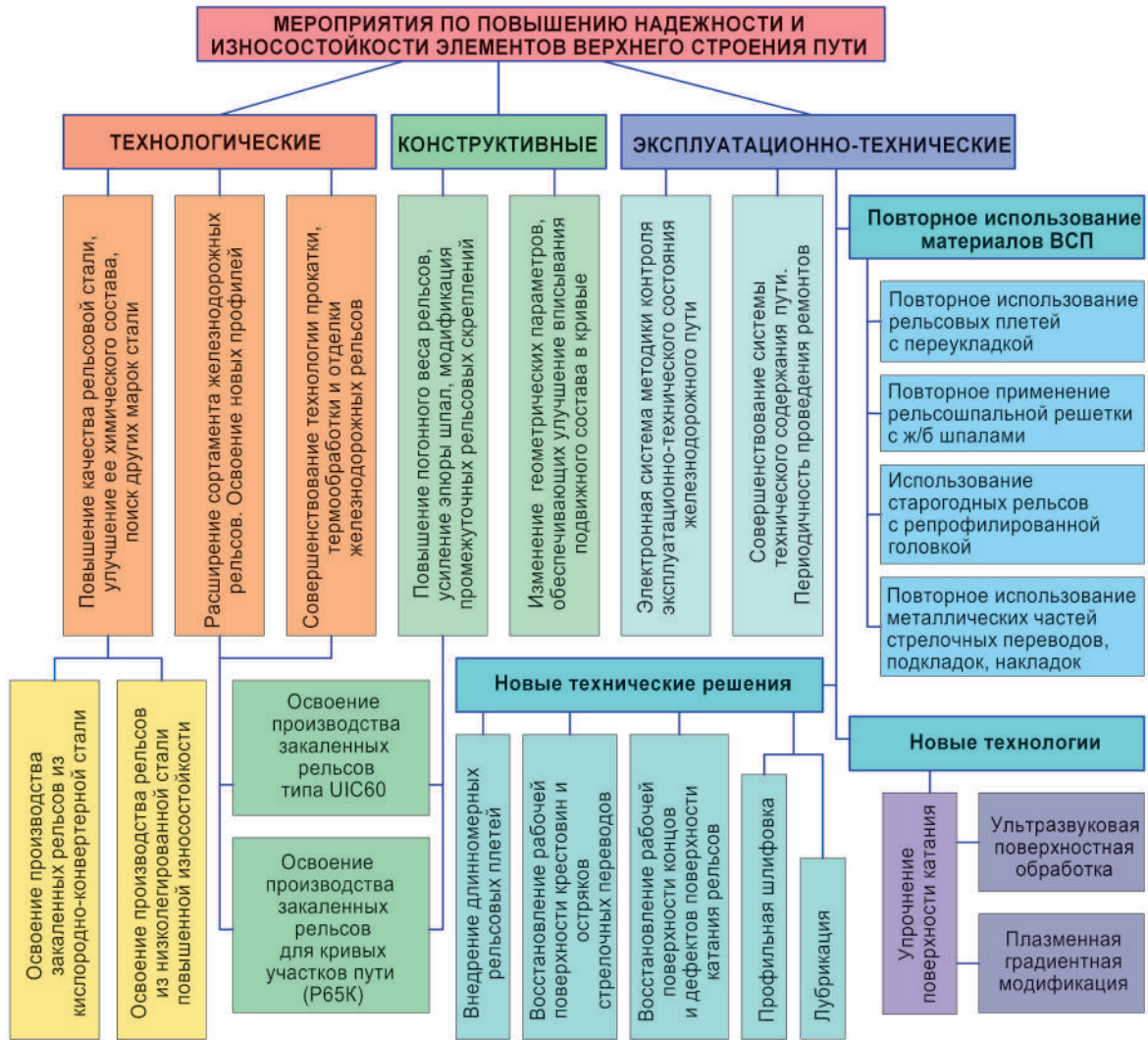


Рисунок 1 – Комплекс ресурсосберегающих мероприятий

- изготовление рельсов длиной 50 и 100 м (увеличение длины рельсов снижает количество сварных стыков в плети, сокращает выход рельсов по дефектам сварных стыков, сокращает расходы на содержание пути и финансовые издержки из-за задержки поездов при замене дефектных рельсов);
- ремонт дефектных участков рабочих поверхностей рельсов и элементов стрелочных переводов путем электродуговой или термитной наплавки (рис. 2);
- профильное шлифование поверхности катания головки рельсов рельсошлифовальными поездами, что существенно продлевает срок службы рельсов и сокращает расходы на эксплуатацию рельсового хозяйства (рис. 3);
- смазка боковых граней рельсов с помощью стационарных путевых лубрикаторов и передвижных рельсо-смазывателей – уменьшение износа боковой грани головки рельса (рис. 4);
- применение дифференцированной укладки рельсов в зависимости от свойств рельсов, профиля и условий эксплуатации.



Рисунок 2 – Наплавка концов рельсов в зоне стыка

При этом следует иметь в виду, что все мероприятия по ресурсосбережению при производстве и эксплуатации рельсов тесно взаимосвязаны и, как правило, должны реализовываться комплексно на всех этапах жизненного цикла рельсов.

В металлургии мероприятия по ресурсосбережению и повышению срока службы рельсов заключаются в следующем:

- повышение качества стали (переход к кислородно-конвертерному и электросталеплавильному спосо-



Рисунок 3 – Повреждаемость рельсов дефектами в зависимости от применения профильного шлифования

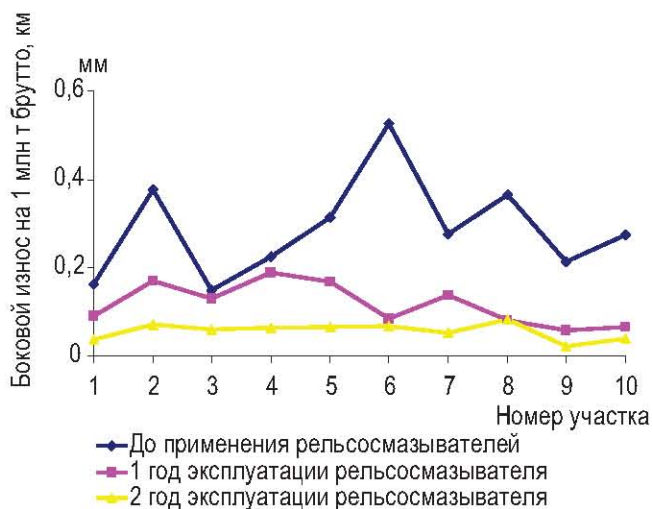


Рисунок 4 – Изменение интенсивности бокового износа головки рельса в кривых участках пути

бам выплавки, применение вакуумирования и непрерывной разливки на МНЛЗ);

- использование тепла прокатного нагрева при термоупрочнении;
- разработка новых марок стали, дифференцированных по назначению;
- освоение новых типов рельсов, позволяющих более полно обеспечить эффективное использование ресурса на основе дифференциации условий их применения.

Металлургическое качество и эксплуатационная стойкость рельсов во многом зависят от:

- прочностных свойств стали;
- твердости головки рельса;
- микроструктуры стали;
- химического состава стали и ее однородности;

- загрязненности рельсовой стали неметаллическими включениями;
- наличия разнообразных внутренних и наружных дефектов металлургического происхождения;
- остаточных напряжений;
- геометрического качества (прямолинейности);
- качества обработки болтовых отверстий и торцов.

За последние десятилетия технология производства рельсов претерпела существенные изменения, в частности, кислородно-конвертерный и электросталеплавильный способы выплавки рельсовой стали вытеснили мартеновский.

Кислородно-конвертерный способ производства способствует снижению расхода металла по переделу и увеличению выхода годного при приемке рельсовой продукции и позволяет получить рельсовую сталь со стабильным химическим составом, низким содержанием вредных примесей и минимальным содержанием газов и неметаллических включений. Использование такой технологии выплавки рельсовой стали приводит к повышению срока службы рельсов.

Следует отметить, что переход к производству рельсов из непрерывно-литых заготовок дает возможность дальнейшего увеличения выхода годного металла – на современных машинах непрерывного литья заготовок выход годного составляет 98,5 %. Непрерывная разливка стали дает возможность улучшить качество металла за счет уменьшения химической неоднородности, сегрегации и улучшения макроструктуры.

Повышению выхода годных рельсов способствуют технологические мероприятия в прокатном производстве:

- применение многозонного нагрева заготовки в печи с шагающими балками (однородность микроструктуры по длине, низкие напряжения в рельсах после прокатки);
- применение гидросбива окалины (повышение качества поверхности рельсов);
- увеличение жесткости прокатных клетей (повышение точности профиля рельса и плотности металла).

Термическое упрочнение рельсов по всей длине – важнейший технологический процесс, обеспечивающий значительное улучшение качества рельсов. В настоящее время в мировой практике производства железнодорожных рельсов известны следующие способы термического упрочнения:

- объемная закалка в масле с печного нагрева;
- термическое упрочнение поверхности катания головки рельсов с нагрева токами высокой частоты (ТВЧ);
- термическое упрочнение поверхности катания и боковых граней головки рельсов с нагрева ТВЧ;



- закалка рельсов с использованием тепла прокатного нагрева.

Поверхностно-закаленные рельсы с использованием нагрева ТВЧ отличаются мелкозернистой структурой металла закаленного слоя головки, благоприятной эпюрой распределения напряжений по профилю рельса с наличием на поверхности головки напряжений сжатия, высокой контактно-усталостной прочностью, живучестью и долговечностью.

Распределение твердости и микроструктуры по поперечному сечению головки рельсов представлено на рис. 5.

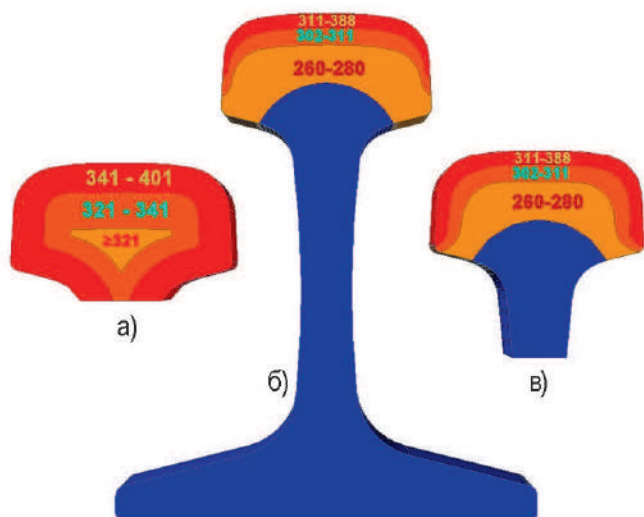


Рисунок 5 – Распределение твердости (НВ) по поперечному сечению головки рельса:

- а) объемно-закаленный; б) поверхностно-закаленный с нагрева ТВЧ; в) поверхностно-закаленный с нагрева ТВЧ с закаленными боковыми гранями

Технология выплавки рельсовой стали марки К76Ф в кислородном конвертере усовершенствована ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» применительно к условиям ПАО «МК «Азовсталь» (2011 г.). Технологическая схема производства рельсовой стали предусматривает:

- выплавку стали в конвертере емкостью 350 т;
- выпуск стали в ковш с отсечкой окисленного шлака;
- раскисление;
- микролегирование и модифицирование на установке «ковш-печь» (УКП);
- дегазацию жидкой стали на установке ковшевого вакуумирования (УКВ).

Обработка на УКП и УКВ с применением продувки аргоном обеспечивает однородность стали по химическому составу, уменьшает содержание вредных примесей и неметаллических включений.

Сталь разливают сифонным способом в изложницы, уширенные сверху с прибыльными надставками, – слит-

ки массой 8,7 т. Прокатку слитков на заготовки и прокату рельсов производят по действующей на комбинате технологии.

Усовершенствованная схема выплавки обеспечила получение стали с химическим составом, соответствующим требованиям ДСТУ 4344 «Рельсы обычные для железных дорог широкой колеи» (табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав рельсовой стали К76Ф

Массовая доля элементов, %					
C	Mn	Si	V	S	P
Требования ДСТУ 4344:2004					
0,71–0,82	0,80–1,30	0,25–0,45	0,030–0,070	≤0,040	≤0,035
фактическое содержание					
0,74–0,81	0,86–0,96	0,24–0,36	0,032–0,067	0,002–0,020	0,011–0,025
среднее значение					
0,78	0,91	0,30	0,50	0,011	0,018

Длина строчек неметаллических включений в рельсовой стали марки К76Ф, выплавленной в конвертерном цехе, и стали марки М76Т мартеновской выплавки представлена в табл. 2.

Таблица 2 – Загрязненность рельсовой стали хрупкоразрушенными окислами

Марка стали	Средняя длина строчек хрупкоразрушенных окислов, мм	
	в головных рельсах	в донных рельсах
К76Ф	0,59	0,55
М76Т	1,15	0,95

Микроструктура рельсов представляет собой троостосорбит с переходом к сорбитообразному перлиту и исходной перлитной структуре.

Свойства термоупрочненных рельсов полностью удовлетворяют требованиям категории 1 по ДСТУ 4344:2004 (табл. 3).

Результаты квалификационных испытаний опытной партии рельсов типа Р65, изготовленной из конвертерной стали марки К76Ф, выплавленной по усовершенствованной схеме, показали, что качество рельсов полностью удовлетворяет требованиям ДСТУ 4344:2004, а результаты стеновых испытаний – Российским требованиям НБ ЖТ ТМ 01-98 «Элементы верхнего строения пути. Нормы безопасности» (Нормы безопасности железнодорожного транспорта. Типовая методика) – табл. 4.

По данным ОАО «НТМК», при кислородно-конвертерном способе выплавки рельсовой стали общий передел рельсов типа Р65 в 1999 г. составлял 9,32 %, в 2010 г. –

Таблица 3 – Свойства термоупрочненных рельсов из стали марки К76Ф

Механические свойства					Твердость, НВ		Расхождение паза, мм
σ_s , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	поверхности катания	по оси на глубине 11 мм	
Требования ДСТУ 4344							
≥800	≥1196	≥8	≥25	≥25	341–401	≥ 302	≤ 3
фактические значения							
800–991	1226–1396	8–15,5	25–42	25–43	341–395	302–341	1,1–2,8
средние значения							
896	1311	12	33	34	368	322	1,9

Таблица 4 – Результаты стендовых испытаний рельсов типа Р65 из кислородно-конвертерной рельсовой стали марки К76Ф на соответствие требованиям ГОСТ Р 51685

Контролируемая характеристика	ГОСТ Р 51685 (Россия)	Номер плавки				
		вакуумированная		невакуумированная		
		КФ15	КФ366	КФ368	КФ392	КУ458
Массовая доля углерода, %	0,71–0,82	0,76	0,75	0,77	0,80	0,78
Временное сопротивление разрыву, МПа	≥1180	–	1363	1352	1376	1373
Относительное сужение, %	≥25	–	28,5	31,1	29,0	33,1
Ударная вязкость, Дж/см ²	≥25	–	32	33	29	17,6
Условный предел выносливости, МПа	≥370*	386	379	400	396	399
Трещиностойкость, МПа·м ^{1/2}	≥32*	<u>47–52</u> 49,6	<u>49–66</u> 55,5	<u>46–47</u> 46,6	<u>42–45</u> 44	<u>41–43</u> 42,5

3,16 %, а при мартеновском способе общий передел в 1999 г. составлял 24,74 % (табл. 5). Анализ этих данных позволяет предположить, что замена мартеновского способа производства рельсовой стали кислородно-конвертерным в ПАО «МК «Азовсталь» позволит снизить передел рельсов типа Р65 с 15 % до 3 %.

В настоящее время выплавлено более 2000 плавок кислородно-конвертерной стали марки К76Ф – рельсы, изготовленные из этой стали, поставляются как железным дорогам Украины, так и за рубеж.

В 2012 г. для определения эксплуатационных показателей и установления оптимальных сфер применения рельсов типа Р65 начаты полигонные испытания партии рельсов на Экспериментальном кольце Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта ОАО «ВНИИЖТ» (г. Москва).

Работы по дальнейшему совершенствованию технологии производства рельсов ПАО «МК «Азовсталь» продолжаются.

Таблица 5 – Качественные показатели по рельсам типа Р65 при различных способах производства

Показатели	Способ производства рельсовой стали						
	мартеновский			конвертерный			
	ОАО «НТМК»	ПАО «МК «Азовсталь»		ОАО «НТМК»			
	1999 г.	1999 г.	2005 г.	1999 г.	2010 г.	2011 г. (7мес)	
Осмотрено рельсов, т	133089	144263	170217	72613			
Выход рельсов 1 сорта, %	97,37	92,0	87,9	98,03			
Брак, %	1,47			0,52			
Передел, %	Общий, в т.ч.:	24,74	7,89	11,88	9,32	3,16	3,08
	по металлу	16,45	4,60	4,96	2,33		
	по прокату	2,90	3,07	6,70	3,93	1,23	1,06
	по отделке	1,11	0,22	0,22	1,70	0,29	0,23
	по термообработке	1,48	–	–	1,36	0,32	0,28
Выход рельсов 25 м	74,54			89,31			



ВЫВОДЫ

Внедрение современных ресурсосберегающих технологий при производстве эксплуатации рельсов позволит сэкономить значительные финансовые средства, уменьшить потребление ресурсов, снизить себестоимость продукции, а именно:

1. Применение шлифования рельсов в пути позволяет уменьшить в 2 раза выход рельсов по количеству

дефектов на 1 км пути на 1 млн т брутто пропущенного тоннажа.

2. Применение рельсосмазывателей позволяет уменьшить боковой износ рельсов в 4 раза.

3. Замена мартеновского способа производства рельсовой стали кислородно-конвертерным в ПАО «МК «Азовсталь» позволит снизить количество отбракованных рельсов типа Р65 с 15 % (2010 г.) до 3 %.

Поступила в редакцию 15.04.2012

Розглянуто основні можливості використання ресурсозберігаючих технологій з підвищення експлуатаційної стійкості і терміну служби рейок у спільній діяльності металургійної та залізничної галузей. Удосконалена схема виробництва транспортного металу з киснево-конвертерної сталі.

The basic capabilities of using resource-saving technologies in a joint activity of steel and railroad industries are considered with the aim to improve operational durability of rails. The advanced scheme of producing transport metal from basic oxygen steel is presented.