

УДК 661.621.771.26:621.746

Е.Н. Смирнов, В.В. Щербачев**СОПОСТАВИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОФИЛЯ
ВАГОННОЙ СТОЙКИ**

На примере профиля вагонной стойки выполнено комплексное исследование качества крупносортовых профилей для вагоностроения производимых в Украине и России. Показано, что реализованная на ОАО «КМЗ им. В.Куйбышева» сквозная интегрированная технология производства крупносортовых профилей из непрерывнолитого металла гарантирует стабильное получение металлопроката 345 категории прочности из стали 09Г2С.

Ключевые слова: вагонная стойка, качество, категория прочности, микроструктура, неметаллические включения, температурный режим, механические свойства

Постановка задачи

Современные условия движения железнодорожного транспорта, сопровождающиеся постоянным возрастанием скорости и тоннажа грузоперевозок, выдвигают повышенные требования к надежности и долговечности как рельсов и колес, так и конструктивных элементов непосредственно самих вагонов: Z-образных балок, угловых профилей, профиля вагонной стойки, обшивки бортов и т.д. [1]. При этом авторы работ видят основное условие увеличения эксплуатационной надежности металлопродукции для железнодорожного транспорта в применении современных металлургических технологий выплавки, внепечной обработки и разлива, в совокупности с производством их из низколегированных сталей [2]. В этом случае, в металлопрокате непосредственно после прокатки, реализованной с использованием специальных режимов, регламентирующих температурно-деформационные и скоростные параметры, уровень свойств будет соответствовать значениям в аналогичной продукции, но подвергшийся термическому упрочнению.

Анализ публикаций по теме исследования

ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» (ОАО «НТМК») является одним из наиболее крупных в России производителем металлопроката для железнодорожного транспорта: рельсов, колёс, бандажей, осевой заготовки, фасонных профилей для вагоностроения [3]. Период 2004-2008 годов на ОАО «НТМК» характеризовался стабилизацией объёма производства рельсового металла, как конвертерного способа производства (на уровне 270-320 тыс. тонн в год), так и мартеновского (на уровне 130-180 тыс. тонн в год). При этом примечательным является тот факт, что для железных дорог России осуществлялась преимущественная поставка металлопроката из непрерывнолитых заготовок (НЛЗ). В частности, доля поставки рельсов из НЛЗ на уровне 2008 года составила практически

ски 100%. Рельсы из мартеновской стали поставляются, в основном, в страны СНГ. В работе [4] отмечаются значительные успехи тагильских металлургов в сталеплавильном производстве: переход на использование кислородно-конвертерной стали, внедрение ряда технологических мер по снижению загрязненности металла неметаллическими включениями, микролегирование стали ванадием и азотом и т.д. Всё вышеназванное позволило, в значительной мере, преодолеть отставание от мировых лидеров и стать ведущим игроком на рынке стран СНГ.

Выполненный анализ поставок крупносортового проката с ОАО "НТМК" в адрес украинских вагоностроительных заводов показал, что в большинстве случаев комбинат осуществляет поставку металлопроката категории прочности 345 из низколегированной стали 09Г2С. Все вышесказанное в полной мере относится и к профилю вагонной стойки, монопольным производителем которого является ОАО "Краматорский металлургический завод им. В. Куйбышева" (ОАО "КМЗ им. В. Куйбышева"). Однако поставки проката осуществляются только 325 категории прочности, что существенно снижает конкурентоспособность продукции и частичной потери рынка сбыта.

Решение задачи, связанная с доведением качества профиля вагонной стойки (ВС) производства ОАО "КМЗ им. В.Куйбышева" до уровня аналогичной продукции, производимой на ОАО "НТМК", потребовала решения двух подзадач, а именно:

- комплексной оценки качества профиля ВС производства ОАО "НТМК";
- разработки новой интегрированной технологической схемы производства профиля ВС из непрерывнолитого металла в условиях ОАО "КМЗ им. В.Куйбышева" и последующей всесторонней оценки ее качества.

Формулировка целей статьи

Целью настоящей работы явилась сопоставительная оценка качества профиля вагонной стойки 345 категории прочности, производимого в условиях ОАО "НТМК" и ОАО "КМЗ им. В.Куйбышева".

Основная часть

Комплексная оценка качества профиля ВС была выполнена по следующим параметрам:

- химический состав стали и механические свойства проката;
- загрязненность неметаллическими включениями;
- действительная структура;
- микротвёрдость феррита;
- дендритная структура.

Для проведения исследований были отобраны пробы от металлопроката:

- производства ОАО "НТМК": прокат текущего производства, поставляемый в адрес ОАО "Крюковский вагоностроительный завод";
- производства ОАО "КМЗ им. В.Куйбышева": прокат опытно-промышленных партий, произведенный по интегрированной технологической схеме [5,6].

При этом технологическим регламентом на опытную прокатку, температура начала прокатки была ограничена интервалом значений 1125...1135°C, а температура конца прокатки (перед чистовым проходом) колебалась в пределах от 1042°C до 850°C. Величина относительного обжатия в чистовом проходе составляла $\epsilon_{\text{чист}}=10,2\%$.

Обобщенные результаты контрольного химического анализа стали и механических испытаний готового проката представлены в табл. 1.

Контрольный химический анализ образцов, вырезанных из раскатов, выполнялся фотоэлектрическим методом по ГОСТ 18895-95. Исключения составили углерод и сера, определение которых осуществлялось химическим методом по ГОСТ 25536.1-88.

Результаты контрольного химического анализа показали, что выбранные для исследования плавки имеют близкий химический состав. Выявленные различия носят незначительный характер и не могут повлиять на корректность выполненного сопоставительного анализа.

Анализ представленных в табл. 1 результатов механических испытаний показывает, что временное сопротивление разрыву $\sigma_{\text{в}}$, в образцах, прокатанных с различной температурой конца прокатки и практически одинаковой температурой начала прокатки (отклонения температуры начала прокатки не более 15°C), колеблется незначительно - 470...485 Н/мм². При этом, по сравнению с первоначальной величиной $\sigma_{\text{в}}$, которая была зафиксирована в передельной заготовке, итоговый прирост составил 30...55 Н/мм².

Предел текучести, являющийся структурно-зависимой характеристикой, отличается в больших пределах: 330 Н/мм² в образце №3-1 с температурой нагрева 1115°C и температурой конца прокатки 1000°C и 335 Н/мм² - в образцах № 4-2 и 5-1 с примерно одинаковой температурой нагрева 1130...1135°C и более низкой по сравнению с другими образцами, температурой окончания прокатки - 900...850°C соответственно. В сравнении с изначальным значением, абсолютный прирост величины $\sigma_{\text{т}}$ составил, в свою очередь, от 30 до 55 Н/мм².

Таблица 1 - Химический состав стали и механических свойств в прокате профиля вагонной стойки

Партия	Шифр образца	Температура начала проката, °С	Температура конца прокатки, °С	Массовая доля элементов, %											Механические свойства						
				C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	As	N ₂	σ ₂ Н/мм ²	σ ₁ Н/мм ²	δ ₅ %	KCU ⁴⁰ Дж/см ²	KCU ⁶⁰ Дж/см ²	KCU ^{min} Дж/см ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
				<0,12	1,3-1,7	0,5-0,8	<0,04	<0,035	<0,3	<0,3				<0,08	<0,012	>480	>345	>21	>29	>39	>29
Требования ГОСТ 19281-89																					
По сертификату				0,11	1,57	0,64	0,024	0,020	0,05	0,04	0,12					497	364	27		158	>29
Контрольный				0,11	1,50	0,57	0,023	0,023	0,06	0,04	0,11	0,01	0,008	0,07	0,010	492	353	27		195	>29
Прокат профиля ВС производства ОАО "НТМК"																					
Заготовка из непрерывного металла сечением 170x170 мм производством ОАО "Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф. Дзержинского"																					
				0,11	1,45	0,59	0,027	0,019			0,02			<0,08	<0,012	440	300	39	110	140	138
Опытно-промышленный прокат профиля ВС производства ОАО "КМЗ им. В.Куйбышева"																					
2 (опытная)	2-1	1123	1042	0,12	1,37	0,62	0,020	0,020	0,07	0,02	0,03	0,019	<0,005	0,005	0,008	475	340	34	220	230	
2 (опытная)	3-1	1115	1000	0,11	1,39	0,54	0,020	0,022	0,07	0,02	0,03	0,021	<0,005	0,005	0,009	470	330	32	199	215	
2 (опытная)	6-1	1135	980	0,11	1,40	0,56	0,020	0,021	0,07	0,02	0,03	0,02	<0,005	0,005	0,008	480	345	32	199	220	
2 (опытная)	4-2	1135	900	0,11	1,38	0,53	0,021	0,022	0,06	0,02	0,03	0,019	<0,005	<0,005	0,010	485	355	35	195	200	
2 (опытная)	5-1	1130	852	0,11	1,39	0,57	0,021	0,019	0,06	0,02	0,03	0,02	<0,005	0,005	0,010	480	355	35	195	217	140

* - механические свойства результатам испытаний образцов, вырезанных из слоев металла лежащих на расстоянии 1/3 высоты от поверхности.

Разница в значениях пластических свойств, в частности, относительного удлинения δ_5 не значительная. Оно меньше (32%) в образцах № 3-1 и 6-1, а выше в образцах проката 4-2 и 5-1. Наблюдающееся понижение, по сравнению с заготовкой, составило от 4 до 7%.

Анализ показателей ударной вязкости при температуре испытаний - 60°C выявил, что наиболее высокое значение было получено в образце №2-1 - 220 Дж/см². В остальных образцах она примерно одинаковая и составила 195...199 Дж/см². Приложенная деформация, в свою очередь, позволила поднять значение этого параметра почти в 1,8...2,95 раза по сравнению с исходным значением, которое было в металле заготовки. Следует также отметить, что выполненные испытания по определению ударной вязкости после механического старения, также показали крайне высокий уровень.

В целом, проведенный анализ результатов механических испытаний металла опытных партий позволяет сделать вывод о том, что реализация предложенных режимов процесса контролируемой прокатки (образцы № 4-2 и 5-1) позволяет достигнуть в профиле ВС комплекса служебных свойств, который свойственен продукции ведущего российского поставщика ОАО "НТМК".

Результаты металлографический исследований металла, как опытных партий, так и продукции текущего производства в соответствии с вышеуказанной схемой представлены в табл. 2 и 3, а вид микроструктуры и неметаллических включений - на рис. 1 и 2.

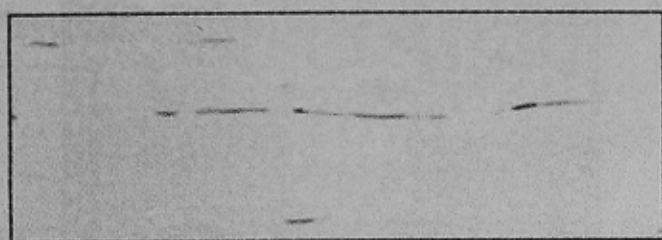
Дополнительное изучение динамики распределения микротвердости является оправданным, поскольку в металле исследуемых образцов присутствует повышенное количество феррита – от 82,5 до 87,6%. В этом случае, свойства феррита (его микросостав, величина действительного зерна и твердость) в значительной степени будут определять механические свойства проката, а также величину его ударной вязкости. При этом следует особо подчеркнуть, что по микротвердости феррита можно в свою очередь также судить как о микронеоднородности металла, так и о его субструктуре, образовавшейся в горячедеформированном состоянии. В этой связи, в ходе исследований была измерена микротвердость феррита по толщине профиля (образца) от одной поверхности к другой. Измерения проводились на приборе ПМТ-3 в соответствии с ГОСТ 9450-76. Результаты выполненных замеров представлены в табл. 4.

Таблица 2 – Оценка загрязненности металла исследуемых образцов (ГОСТ 1778 - 70)

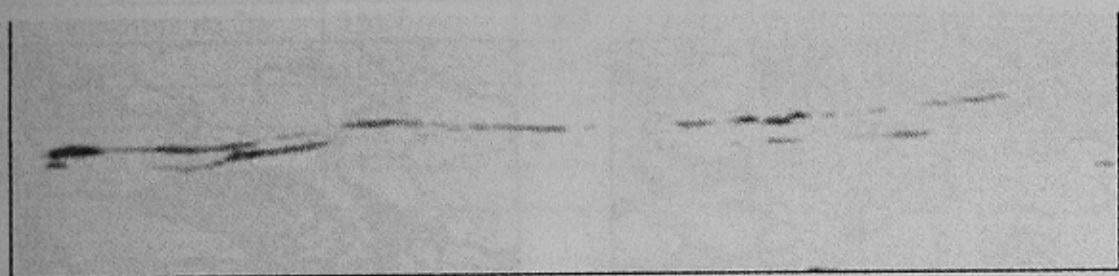
Шифр образца	Неметаллические включения, максимальный балл				Примечание
	С	ОС	ОТ	СП СН	
Прокат профиля ВС производства ОАО "НТМК"					
	1,0	1,0	0	0	Сульфидные и окисульфидные включения (максимально до 2 балла) в виде тонких плёнок. Силикатные включения до 0,5...1,5 балла. Строчки очень мелких включений с нитридами титана в сульфидно-кислородной пластичной оболочке.
Опытно промышленный прокат профиля ВС производства ОАО "КМЗ им. В.Куйбышева"					
2-1	0,5	0	0	0,5	
3-1	0,5	0	0	4,0	Силикаты недеформирующиеся единичные (максимально до 4 балла)
6-1	0,5	0	0	0	
4-2	1,0	0,5	0	2,0	Единичные оксидные строчки и глобулярные силикаты
5-1	1,0	1,0	0	0	Единичные оксидные строчки типа алюминатов

Таблица 3 – Результаты оценки параметров микроструктуры по ГОСТ 5639-82 и ГОСТ 5640-68

Шифр образца	Т нагрева, °С	Т кон. прок., °С	Полосчатость, балл			Видман-штетт, балл	Действительное зерно феррита		Состав фаз, %				
			край	внец	центр		номер	средний размер, мкм	Феррит	Перлит	Сорбит	Верхний бойнит	
			1,0	1,0	1,0	0	9-8-11	7,9	82,0	17,2	0,8		
Прокат профиля ВС производства ОАО "НТМК"													
Опытно промышленный прокат профиля ВС производства ОАО "КМЗ им. В.Куйбышева"													
2-1	1123	1042	0	0,5	0	0	8-7-9	10,3	82,5	16,8		0,7	
3-1	1115	1000	0	1,5	2,5	0	7-8	11,9	84,2	14,6		1,2	
6-1	1135	980	1,5	1,5		0	7-8	13,1	83,8	15,4	0,8		
4-2	1135	900	1,0	1,5	2,5	0	8-9	10,0	85,9	13,6		0,5	
5-1	1130	852	2,0	2,0	2,0	0	9-8-10	8,71	87,6	12,4			



а



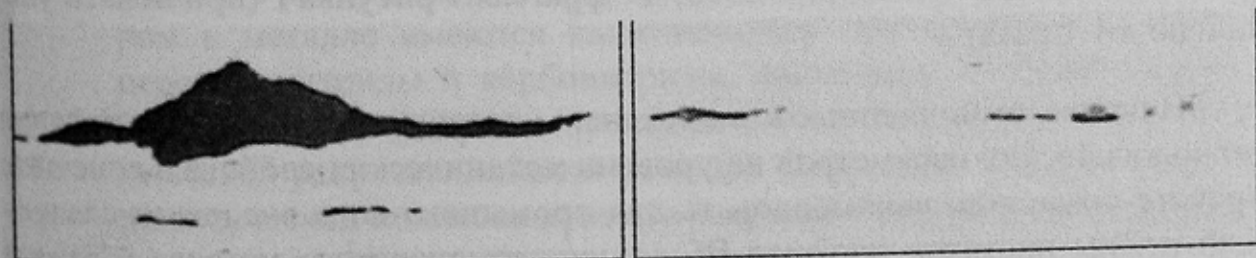
б



в



г



д

е

Рисунок 1 – Вид сульфидных и силикатных включений в продольном сечении раската профиля вагонной стойки, сталь 09Г2С: а - $\times 250$; б - $\times 500$; в - $\times 1000$; г - $\times 500$; д - $\times 1000$; е - $\times 1000$

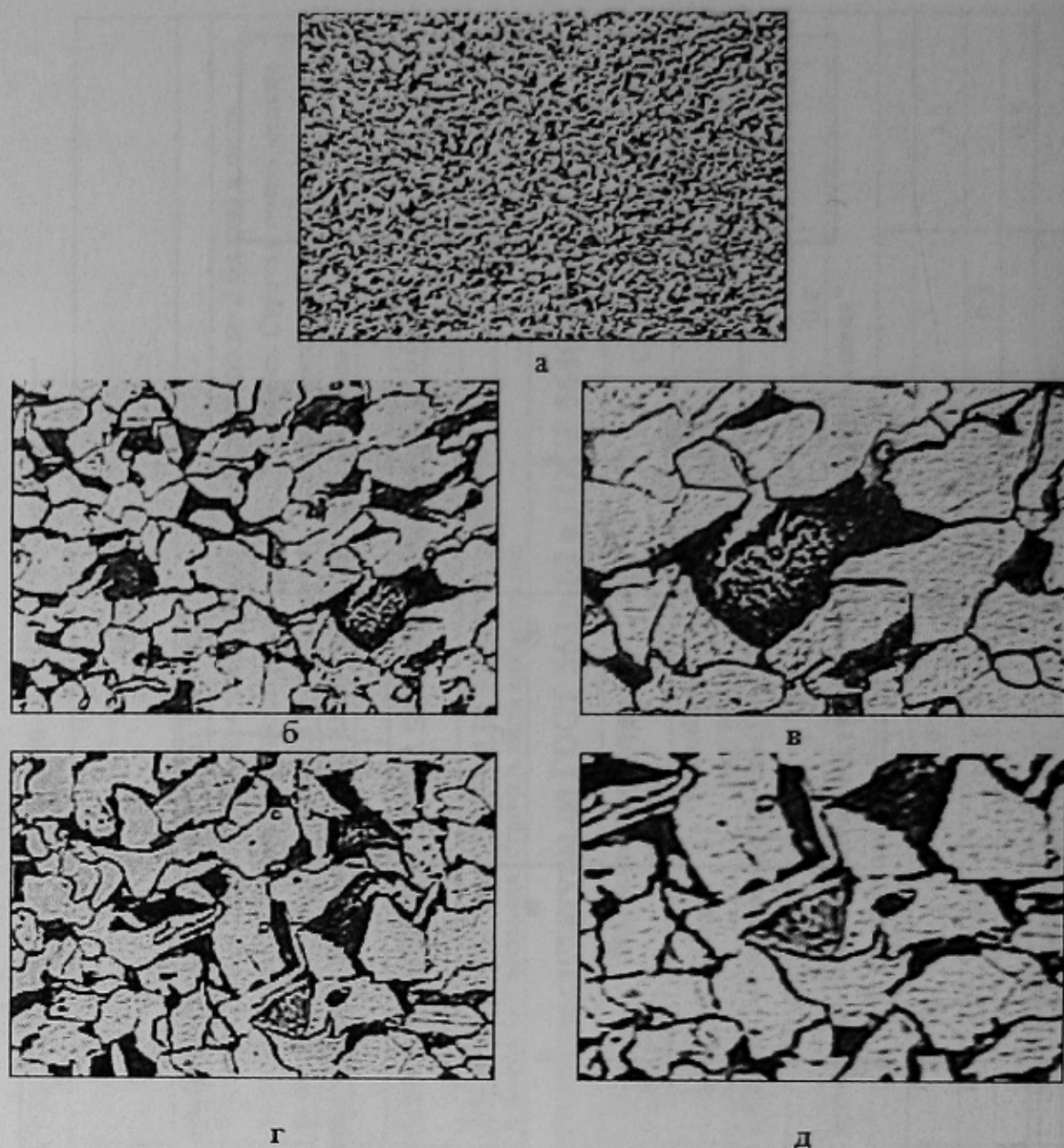


Рисунок 2 – Микроструктура профіля вагонної стойки, сталь 09Г2С: а- х100; б-х500; в - х1000; г - х500; д - фрагмент рисунка г (при печаті збільшено в 1,1 раз)

В цілому, виконані комплексні дослідження по оцінці впливу технологічних параметрів на рівень механічних властивостей в кінцевому прокаті дозволили рекомендувати для промислового впровадження наступний режим прокатки профіля ВС з неперервнолитого металу в рамках знову створеної інтегрованої технологічної схеми:

- температура початку прокатки (після 1-го пропуску) - не більше 1130°C ;
- температура кінця прокатки (перед останнім пропуском) – не більше 850°C ;
- величина відносного обжатию в чистовому проході додатково збільшується до $\varepsilon_{\text{чис}}^{\text{кор}} = 21,7\%$, т.е. на $11,5\%$.

Таблица 4 - Результаты измерения микротвёрдости феррита в металле

Образец	Микротвёрдость при нагрузке 20 г, Н/мм ²						
	Заготовка 170x170 мм	Опытные партии					Прокат ОАО "НТМК"
Т начала прокатки, °С	1240	1123	1115	1135	1135	1130	-
Т конца прокатки, °С	1150	1042	1000	980	900	852	-
Номер образца	1	2-1	3-1	6-1	4-2	5-1	2
Среднее значение из 20	1517	1470	1450	1670	1349	1389	1330
Максимальное	1615	1683	1996	1910	1755	1831	1640
Минимальное	1385	1244	1244	1386	928	1123	871
Разница (max-min)	230	439	752	524	827	707	769
Сорбит	-	-	2527	-	-	-	-

Выполненные в дальнейшем промышленные прокатки профиля ВС категории 345 показали, что разработанные рекомендации способствуют формированию в готовом прокате микроструктуры с преобладанием ферритной составляющей с мелким действительным зерном феррита а также субструктуры, которая является благоприятной в части возрастания величины работы зарождения и развития трещины.

Таким образом, результаты выполненного комплексного исследования позволяют утверждать, что перевод производства профиля ВС на использование непрерывнолитого металла по скорректированному температурно-деформационному режиму позволил обеспечить более высокий уровень прочностных свойств и величины работы удара за счёт:

- внутри- и межплавочной стабилизации химического состава;
- минимальной зональной и дендритной ликвации;
- благоприятного распределения мелких неметаллических включений и отсутствия крупных экзогенных;
- фазового распределения нитридообразующих элементов, при котором в металле имеются выделившиеся при прокатке мелкодисперсные нитриды и карбонитриды, явившиеся, с одной стороны, барьерами для задержки прохождения полностью процесса динамической рекристаллизации (или для сохранения полигонов после динамической полигонизации), а с другой - зародышами новой фазы при фазовой перекристаллизации и, как следствие, отсутствием в твердом растворе несвязанного азота;
- температурно-деформационных условий прокатки способствующих как накоплению большой энергии деформации, так и совместно с мелкодисперсными нитридными и карбонитридными частицами, обеспечивающих образование устойчивой субструктуры.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Выполненный комплекс исследований показал, что реализованная технология производства профиля вагонной стойки из низколегированной непрерывнолитой стали 09Г2С категории прочности 345, на основе сквозной интегрированной технологической схемы. Дальнейшее развитие и совершенствование разработанной технологии является весьма перспективным направлением, позволяющим уже сегодня обеспечить вагоностроительную отрасль страны продукцией на уровне лучших производителей СНГ при одновременном снижении себестоимости, а также отказаться от закупок данного вида металлопроката по импорту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппов Г.А. Современные тенденции развития металлопродукции для железнодорожного транспорта / Г.А. Филиппов, В.А. Синельников // Высокотехнологическое оборудование для металлургической промышленности: сб. тр. всерос. науч.-техн. конф., Москва, 14 - 15 апреля 2004 г. - М.: ВНИИМЕТМАШ им. А. И. Целикова, 2004. - С. 307-315.
2. Дорофеев В.Ф. Производство новых прокатных профилей для ОАО. "Российские железные дороги" / В.Ф. Дорофеев, Е.Л. Кравченко, В.С. Марамзин и др. // Производство проката. - 2004. - №12. - С. 22-25.
3. Матвеев В.В. Состояние и перспективы развития рельсового производства на ОАО "НТМК" / В.В. Матвеев // Промышленный транспорт. XXI век. - 2008. - № 4. - С. 25-27.
4. Рейхарт В.Л. Рельсы Нижнего Тагила / В.Л. Рейхарт, Б.О. Добужская, Г.Н. Галицын // Путь и путевое хозяйство. - 2008. - №5. - С. 6-8.
5. Состояние и перспективы развития технологических схем производства полосо-бульбовых профилей / А. Н. Лубенец, Е. Н. Смирнов, В. В. Щербачёв [и др.] // Четвёртый конгресс прокатчиков: сб. тр. конгресса прокатчиков, Магнитогорск, 16 - 19 октября 2001 г. - М.: Черметинформация, 2002. - (Производство горячекатаного листа и сортопрокатное производство). - Том 1. - 2002. - С. 320-325.
6. Смирнов Е. Н. Перспективы снижения энергозатрат при производстве проката из непрерывнолитой заготовки / Е. Н. Смирнов, М. В. Григорьев // Энергоэффективность крупного промышленного региона: сб. науч. тр. междунар. конф. - Донецк: ООО "Друк - Инфо", 2004. - С. 287-294.

Поступила в редакцию 30.08.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. В.П. Горбатенко

© Смирнов Е.Н., Щербачёв В.В., 2010