

# ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ РЕЛЬСОВ ВОЗДУШНЫМ СПОСОБОМ ПО ТЕХНОЛОГИИ «ТЭК-ДТ» НА ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКЕ ТЭК-ДТО-20-13,6

**ТЕКСТ** СЕРГЕЙ ХЛЫСТ,  
ВЛАДИМИР КУЗЬМИЧЕНКО,  
ИЛЬЯ ХЛЫСТ,  
АЛЕКСЕЙ ГОНТАРЬ,  
Научно-производственное  
предприятие «Томская  
электронная компания»,  
г. Томск



В конце 2011 г. – начале 2012 г. в НПП «Томская электронная компания» была запущена в работу установка ТЭК-ДТО-20-13,6, предназначенная для дифференцированной термообработки рельсов длиной 12,5–13,6 м.

В 2012 г. были проведены работы по термообработке рельсов из стали К76Ф длиной 13 м производства ОАО «ЕВРАЗ НТМК». Образцы термообработанных рельсов были исследованы в Центральной лаборатории комбината (ЦЛК ОАО «ЕВРАЗ ОЗСМК»).

Для сравнения в отчете ОАО «ЕВРАЗ ОЗСМК» были представлены результаты исследований рельсов термообработанных с отдельного индукционного нагрева (ТЭК-ДТО), отдельного печного нагрева (ОЗСМК ОП), прокатного нагрева (ОЗСМК ПН) и текущего производства «ЕВРАЗ ОЗСМК» (Т1, НЭ).

Таблица 1

Материал	Содержание химических элементов, %											
	C	Mn	Si	V	Cr	Ni	Cu	P	S	Al	O	N
ТЭК-ДТО	0,79	0,97	0,39	0,08	0,108	0,12	0,006	0,015	0,010	0,004	0,0015	0,014
ОЗСМК ОН	0,75	0,83	0,55	0,04	0,42	0,08	0,14	0,012	0,008	0,003	-	-
ОЗСМК ПН	0,79	0,78	0,55	0,07	0,46	0,08	0,14	0,014	0,015	0,002	-	-
Рельсы категории НЭ текущего производства (среднее за 2011)	0,76	0,89	0,31	0,07	0,08	0,08	0,13	0,013	0,007	0,002	0,0014	0,014
Требования ГОСТ Р 51685-2000 и ТУ 0921-118-01124328-2003 для стали марки Э76Ф	0,71-0,82	0,75-1,15	0,25-0,45	0,05-0,15	Σ не более 0,40			не более			-	-
					0,15	0,15	0,20	0,025	0,025	0,2	0,004	

Химические составы вышеперечисленных рельсов приведены в таблице 1.

Для термообработки рельсов из стали приведенного химического состава нами был разработан режим для получения рельсов категории ДТ350 с высокими показателями твердости (398НВ) на поверхности катания головки (ПГВ).

Полученные механические свойства и твердость образцов соответствуют категории ДТ350, а также категории ДТ370 по проекту ГОСТ Р 51685 (табл. 2).

Однако ударная вязкость при  $T = -60^\circ \text{C}$  оказалась на уровне и несколько ниже требований ТУ 0921-076-01124328-2003 для рельсов категории НЭ. Это обусловлено режимом термообработки, обеспечивающим высокие показатели твердости для данного химического состава.

Поскольку технология ТЭК-ДТО позволяет гибко изменять скорость и график охлаждения рельсов, то для термообработки рельсов категории НЭ без изменения химического состава стали достаточно откорректировать режим.

Следует также отметить, что твердость и механические свойства рельсов из стали К76Ф с  $\text{Cr } 0,108 \%$  масс., термообработанных по технологии ТЭК-ДТО (воздух с изменяемой влажностью), и рельсов из стали Э76ХФ с  $\text{Cr}=0,42 \%$  (ОЗСМК ОП) и  $\text{Cr}=0,46 \%$  (ОЗСМК ПН), термообработанных воздухом, существенных различий не имеют (табл. 3).

Данные исследования показывают возможность получения по технологии ТЭК-ДТО рельсов с широким диапазоном твердости и механических свойств без

Таблица 2

Проба	Категория	$\sigma_T$	$\sigma_B$	$\sigma$	$\psi$	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>		Твёрдость, НВ							
		Н/мм <sup>2</sup>		%		+20°С	-60°С	головка				шейка	подшова		
		ПКГ	10мм	22мм	от выкружек	1	2								
ТЭК-ДТО		900	1280	13,5–14,5	38–45	50–32	25–13	398	383	354	370	368	293	321	319
Рельсы текущего производства (среднее за 2011)	T1	902	1251	12,4	36,2	40	–	378	374	354	–	–	363	374	374
	НЭ	909	1260	13,3	40,5	–	33	380	376	355	–	–	366	375	375
ГОСТ Р 51685-2000 и ТУ 0921-118-01124328-2003 для рельсов категории:	T1	не менее						341-401	не менее				не более 388		
		800	1180	8,0	25,0	25,0	–		341	321	–				
	НЭ					–	25,0								
ТУ 0921-276-1124323-2012 для рельсов категории ДТ350		не менее						352-401	не менее				не более		
		800	1180	9,0	25,0	15,0	–		341	321	341		341	363	

Таблица 3

Проба	Категория	$\sigma_T$	$\sigma_B$	$\sigma$	$\psi$	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>		Твёрдость, НВ							
		Н/мм <sup>2</sup>		%		+20°С	-60°С	головка				шейка	подшова		
		ПКГ	10 мм	22 мм	от выкружек	1	2								
ТЭК-ДТО (НТМК К76Ф, Cr 0,108 %)		900	1280	13,5–14,5	38–45	50–32	25–13	398	383	354	370	368	293	321	319
ОЗСМК ОН (Э76ХФ, Cr 0,42 %)		804	1235	17,0	53	25	–	373	368	343	–	–	315	323	323
ОЗСМК ПН (Э76ХФ, Cr 0,46 %)		872-921	1264–1343	10,5–14,0	30–38	19–25	–	388–401	383–388	368–375	–	–	337–361	352–359	352–359
Требования проекта ГОСТ Р 51685 для рельсов категории ДТ350		не менее						352-401	не менее				не более		
		800	1180	9,0	25,0	15,0	–		341	321	341		341	363	

дополнительного легирования стали. Этот факт существенно влияет на себестоимость выпуска требуемых рельсов.

Исследования термообработанных рельсов на повторяемость результатов применения технологии ТЭК-ДТО

Отработаны режимы термообработки полнопрофильных рельсов, при этом на предприятии «ТЭК» было исследовано более 20 образцов рельсов производства «ЕВРАЗ НТМК» длиной от 6 до 13 м. Получена удовлетворительная повторяемость результатов. После этого закаленные рельсы длиной 12,5 м переданы для исследования в ЦЛК ОАО «ЕВРАЗ НТМК».

В табл. 4 приведены показатели твердости рельсов, термообработанных по одному режиму в разные дни и время суток, предоставленные ЦЛК «ЕВРАЗ НТМК».

Из полученных данных следует, что твердость полученных образцов соответствует категории ДТ350 по проекту ГОСТ Р 51685 и находится выше показателей твердости для рельсов категории В (ГОСТ Р 51685-2000), ДТ350 и ДТ370 (проект ГОСТ Р51685), а также выше показателей твердости рельсов категории ДНН 370 (AREMA).

При этом разброс твердости по длине рельса (ПКГ, на глубине 10 мм и 22 мм) незначителен и составляет 3–5 единиц НВ.

Таким образом, технология термообработки рельсов ТЭК-ДТО является повторяемой.

Таблица 4

Место испытаний	Место отбора пробы (№ образца)	На поверхности катания головки	На глубине 10 мм	На глубине 22 мм	В шейке	В подошве	
						Перо 1	Перо 2
НТМК, рельс № 129	Передний конец (№ 1)	393	383	354	304	313	313
	Середина (№ 2)	390	385	359	297	309	311
	Задний конец (№ 3)	393	383	352	292	313	315
НТМК, рельс № 130	Передний конец (№ 1)	393	388	363	290	309	306
	Середина (№ 2)	393	383	366	288	313	313
	Задний конец (№ 3)	390	383	359	286	311	313
Средние значения НТМК за 2011 г., категория Т1		363	357	335	348	354	
Закалка воздухом, 136RE, ДНН 370, "ERMS" (США), 2008 г.		377	369	350	312	318	318
Проект ГОСТ Р 51685 ДТ350 (НН, СС, ВС)		352-401	≥341	≥321	≤341	≤363	
Проект ГОСТ Р 51685 ДТ370ИК		370-409	≥363	≥352	≤352	≤388	

### ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНЫХ РЕЛЬСОВ, ТЕРМООБРАБОТАННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ ТЭК-ДТО

С целью разработки технологии термообработки плетей рельсов длиной до 800 м с отдельного индукционного нагрева с обеспечением наилучшей однородности структуры и механических свойств сварных стыков плетей были проведены опытные работы по термообработке рельсов со сварными швами. В работе использованы образцы рельсов из стали Э76Ф производства ОАО «ЕВРАЗ ОЗСМК», сваренных на рельсосварочном поезде РСП-29, ст. Промышленная ВСЖД, Кемеровская область.

Отработка режимов термообработки рельсов со сварными швами проводилась на образцах длиной 1200 мм, 3000 мм и 12000 мм.

Ниже приведены результаты исследований.

Макро и микроструктура сварного шва, термообработанного по технологии ТЭК-ДТО, приведены на рис. 1.

Полнопрофильный образец рельса со сварным швом, вырезанный из термообработанного по технологии ТЭК-ДТО рельса длиной 3000 мм.

Из приведенных данных видно, что зона термического влияния при применении технологии ТЭК-ДТО значительно уменьшается до зоны термического влияния сварного шва (6мм), а по существующей технологии зона термического влияния равна зоне нагрева под термообра-



Рис. 1. Макроструктуры и зоны термического влияния термообработанных сварных швов.

ботку сварного шва (130 мм) (рис. 2).

Микроструктуры в зоне сварного шва по существующей технологии и технологии «ТЭК-ДТ» приведены на рис. 3.

**ТВЕРДОСТЬ СВАРНЫХ РЕЛЬСОВ, ТЕРМООБРАБОВАННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ «ТЭК-ДТ»**

На рис. 4 изображено распределение твердости по длине рельса, термообработанного по технологии «ТЭК-ДТ» в зоне сварного

Таблица 5

Зона вырезки образца	$\sigma_T$ Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$	$\sigma$ %	$\psi$	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Твёрдость, НВ					
						головка			шейка	подшова	
						ПКГ	10 мм	22 мм		1	2
Рельс № 1	–	–	–	–	–	398	388	356	295	317	315
Рельс № 2	810	1250	13	33	43; 31	383	378	352	298	323	321
Сварной шов выкружка № 1	860	1230	11	37	–	–	–	–	–	–	–
Сварной шов выкружка № 2	–	–	–	–	22	–	–	–	–	–	–
ГОСТ Р 51685-2000 для рельсов категории Т1	не менее					341–401	не менее		не более		
	800	1180	8	25	25		341	320	388		

шва на ПКГ и на глубине 10 мм и 22 мм от поверхности головки.

Данные по замерам твердости на расстоянии до 3мм от шва

подтверждают локальное снижение твердости, что свидетельствует о наличии зоны термического влияния шириной до 6 мм (рис. 5).

Разность твердости сварных рельсов после термообработки (порядка 10 единиц НВ) объясняется разностью химического состава стали (Сэжв1 и Сэжв2, расчетное  $\Delta HV=9,76$  НВ).

Данные по твердости подтверждают, что зона термического влияния по существующей технологии составляет 130 мм, а по технологии «ТЭК-ДТ» до 6 мм (зона сварного шва), при этом в зоне термического влияния по существующей технологии твердость снижается до уровня не термообработанного рельса.

Данные ЦЛК «ЕВРАЗ ОЗСМК» по механическим свойствам сварных рельсов, термообработанных по технологии «ТЭК-ДТ», приведены в таблице 5.

Сварные рельсы, термообработанные по технологии ТЭК-ДТО, соответствуют категории ДТ350 по проекту ГОСТ Р 51685. При этом ширина зоны термического влияния составляет ±3 мм (зона сварного шва), где наблюдается локальное снижение механических свойств рельса.

Величина действительного зерна в зоне сварного шва составляет № 6 - 9 шкалы ГОСТ 5639-82, а ширина шва во всех сечениях профиля - 0,18–0,29 мм и определяется в микроструктуре обезуглероживанием и ферритной сеткой.

ответствующими категориям ДТ350, а также категории ДТ370 по проекту ГОСТ Р 51685 и выше показателей твердости для рельсов категории В (ГОСТ Р 51685-2000) и рельсов категории ДНН370 (AREMA).

При этом гибкое изменение скорости (2 - 12° С/сек.) и графика охлаждения рельсов обеспечивает получение широкого диапазона твердости и механических свойств рельсов без дополнительного легирования стали.

2. Технология «ТЭК-ДТ» и установка ТЭК-ДТО-20-13,6 обеспечивают со стабильной повторяемостью получение сварных рельсов с твердостью и механическими свойствами, соответствующими категориям ДТ350 по проекту ГОСТ Р 51685.

В отличие от существующей технологии термообработки сварных рельсов зона термического влияния по технологии ТЭК-ДТО значительно уменьшается со 130 мм до зоны сварного шва 6мм, а также исключается снижение твердости.

3. Технология «ТЭК-ДТ» рекомендуется для термообработки рельсов текущего серийного производства по технологиям с прокатного и отдельного нагрева и обеспечит снижение себестоимости выпускаемых рельсов.

4. Технология «ТЭК-ДТ» и установка ТЭК-ДТО-20-13,6 рекомендуются к применению на рельсовсварочных поездах для термообработки сварных плетей рельсов длиной до 800 м, что обеспечит существенное повышение качества сварных стыков.

При этом данная технология позволяет осуществлять ремонт рельсов в текущем серийном производстве путем вырезки места дефекта и сварки с последующей термообработкой всего рельса. Это может быть особенно актуально при выпуске рельсов длиной 100 метров.

Рис. 2.

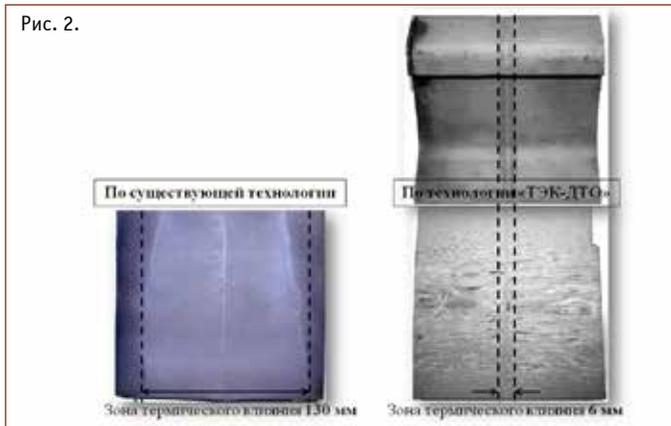


Рис. 3.

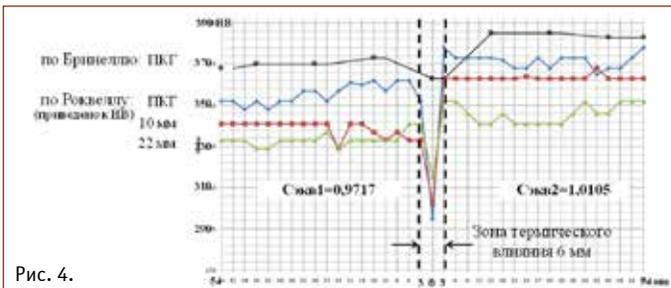


Рис. 4.



Рис. 5.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДАЮТ ОСНОВАНИЯ ДЛЯ СЛЕДУЮЩИХ ВЫВОДОВ:**

1. Технология «ТЭК-ДТ» и установка ТЭК-ДТО-20-13,6 обеспечивают со стабильной повторяемостью получение рельсов с твердостью и механическими свойствами, со-