

Бабаченко А.И. /к.т.н./, Кононенко А.А., Кныш А.В. /к.т.н./, Хулин А.Н., Дементьева Ж.А., Шпак Е.А.

Институт черной металлургии НАН Украины

## Влияние твердости и химического состава железнодорожных колес на стойкость к образованию дефектов на поверхности катания

*Показано, что показателями стойкости колес к образованию на поверхности катания дефектов теплового происхождения являются глубина мартенситного слоя, который образуется при нагреве колеса в процессе торможения и последующем охлаждении, его твердость и формируемая микроструктура. Показано, что с повышением содержания углерода в колесах интенсивность его отрицательного влияния на стойкость к образованию дефектов на поверхности катания возрастает. Ил. 4. Табл. 3. Библиогр.: 6 назв.*

**Ключевые слова:** выщербина, химический состав, «белый слой», железнодорожные колеса

*It is shown that the performance stability of the wheels to the formation of defects on the running surface of thermal origin are the depth of the martensite layer, which is formed by heating the wheels during braking and subsequently cooled, its hardness and microstructure formed. It is shown that with the increase of carbon content in the wheels of the intensity of their negative effect on the resistance to the formation of defects on the running surface increases.*

**Keywords:** chip, chemical composition, "white layer", railway wheels

### Состояние вопроса

В настоящее время одним из наиболее распространенных дефектов на поверхности катания железнодорожных колес являются выщербина. Статистические данные, полученные по результатам исследований ОАО «Российские железные дороги», свидетельствуют о заметном перераспределении причин обточки колесных пар за последние десять лет. Доля обточек по выщербинам за это время увеличилась в 1,8 раза, по ползунам в 1,7 раза, а по тонкому гребню уменьшилась в 1,8 раза [1].

Из существующих типов выщербин [2] наиболее распространенными являются дефекты, которые образовались в результате разогрева поверхности катания колеса при торможении, при этом образованию выщербин предшествует возникновение на поверхности катания ползуна [1,3]. По данным [1] на железных дорогах РФ их доля составляет около 70 % от общего количества выщербин.

Статистический анализ дефектов на поверхности катания колес, проведенный по результатам комиссионного осмотра специалистами ИЧМ НАНУ, ДНУЖТ и ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» в различных депо Украины, показал, что наиболее распространенными из них являются выщербина, образующиеся на ползуне. Выполненные предварительные исследования позволили установить, что для колес с содержанием углерода в пределах 0,46-0,66 % и уровнем твердости 266-337 НВ закономерности возникновения дефекта одинаковы и связаны с образованием на поверхности катания колеса в зоне его контакта с рельсом хрупкой структурной составляющей – мартенсита и ее последующим выкрашиванием при эксплуатации [4].

В последние годы на железных дорогах Украины

наметились тенденции к повышению нагрузки на ось грузового вагона до 25 т и скорости его движения до 120 км/ч. Это привело к необходимости поиска способов повышения прочностных характеристик (твердости) железнодорожных колес за счет использования легирующих элементов и повышения содержания углерода в стали (например, применение стали марки Т с содержанием углерода 0,61-0,69 %, микролегированной ванадием 0,08-0,15 %). Все эти мероприятия положительно сказались на повышении прочности колес и их износостойкости в сравнении с колесами из стали марки 2 с содержанием углерода 0,55-0,65 %. Однако известно, что изменение химического состава колесной стали может изменить ее чувствительность к образованию дефектов на поверхности катания [3].

### Цель работы

Установить закономерности влияния содержания углерода и уровня твердости железнодорожных колес на чувствительность к образованию эксплуатационных дефектов термического происхождения на их поверхности катания.

### Методика проведения исследований

Для проведения сравнительных исследований влияния содержания углерода и уровня твердости стали на ее чувствительность к образованию дефектов теплового воздействия необходимо, чтобы влияние остальных факторов (в том числе и эксплуатационных) было устранено. В реальных условиях эксплуатации колес это сделать невозможно. Такие исследования могут проводиться только в лабораторных условиях. Для проведения указанных исследований использовался специальный стенд и методика исследований, разработана [3]. Указанный стенд позволяет моделировать условия торможения железно-

Таблица 1. Химический состав исследуемых железнодорожных колес

№ плавки	Содержание элементов, % по массе										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al	Ti
32223 (марка Т)	0,66	0,73	0,33	0,008	0,007	0,19	0,12	0,06	0,085	0,023	0,006
32740 (марка Т)	0,65	0,69	0,36	0,007	0,005	0,20	0,11	0,07	0,088	0,027	0,006
42429 (марка 2)	0,61	0,68	0,32	0,007	0,007	0,18	0,05	0,08	0,072	0,026	0,006
32356 (марка 1)	0,52	0,69	0,33	0,007	0,007	0,20	0,06	0,07	0,086	0,025	0,006
32244 (марка 1)	0,46	0,71	0,33	0,007	0,007	0,20	0,06	0,07	0,085	0,025	0,006

дорожных колес в процессе эксплуатации. Контролируемыми параметрами таких исследований, определяющих чувствительность стали к тепловому воздействию, являются глубина белого слоя, его микроструктура и микротвердость по сечению.

Установленные опытным путем оптимальные параметры нагружения (усилие прижатия 7000 Н, время прижатия 5 с) обеспечивают разогрев образцов сталей для железнодорожных колес различного химического состава до температуры 800-850 °С, которая выше точки  $A_{c3}$  для исследуемых сталей и является вполне достаточной для перехода в аустенитное состояние. Последующее ускоренное охлаждение опытного образца приводит к образованию в нем структур закалки на глубину, близкую к глубине «белых слоев», образующихся в процессе эксплуатации железнодорожных колес.

Исследования проводились на образцах, вырезанных из ободьев железнодорожных колес марки Т (ТУ У 35.2-23365425-600) и марок 1 и 2 (ДСТУ ГОСТ 10791:2006), производства ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ». Химический состав исследуемых колес представлен в табл. 1, а их механические свойства в табл. 2.

**Исследования микроструктуры сталей для железнодорожных колес после торможения на стенде**

В образцах из стали марки Т, независимо от уровня твердости в поверхностных слоях исследуемых образцов образовалась слабо травимая область с повышенной твердостью и неоднородной структурой высокоуглеродистого мартенсита, называемая в литературе «белый слой» (рис. 1а, б) аналогичная той, которая, как было показано в работах [4], образуется в процессе эксплуатации в поверхностных слоях железнодорожных колес с дефектами типа «выщербины».

Далее по сечению образцов при переходе от «белого слоя» к основному металлу наблюдали слой перлита, имеющего повышенную травимость. Вероятно, в этой зоне металл нагревался выше точки  $A_{c1}$ , но, поскольку разогрев металла при торможении происходит быстро и кратковременно, то образующийся аустенит неоднороден по углероду и в контакте с ферритом и цементитом является слабоустойчивым. Поэтому после прекращения нагрева от контактной поверхности происходит распад аустенита по диффузионному механизму при повышенной скорости охлаждения с образованием мелкодисперсных перлитных структур, чем и вызвана повышенная травимость этого участка. С удалением от контактной поверхности количество мартенсита уменьшается, а количество перлита и избыточного феррита увеличивается (рис. 1в, г). Структура основного металла представля-

Таблица 2. Механические свойства исследуемых колес

Номер плавки	Механические свойства обода колеса				
	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, Дж/см <sup>2</sup>	Твердость, НВ
32223	1180	13,5	38,0	18,4	337
32740	1110	14,5	39	25,8	315
42429	1010	16	44	42	298
32356	970	16,5	43	40,5	277
32244	916,5	16,4	42	50,8	266

ет собой перлит с небольшим количеством структурно свободного феррита (рис. 1д, е).

Результаты металлографических исследований образцов стали для железнодорожных колес марок 2 и 1 свидетельствуют о том, что независимо от содержания углерода (в пределах 0,46-0,66 %) при торможении образуются микроструктуры, подобные наблюдаемым для стали марки Т: в поверхностных слоях - слабо травимая область (белый слой) с повышенной твердостью и структурой высокоуглеродистого мартенсита, переходный слой – перлит высокой дисперсности, структура основного металла - перлит и структурно свободный феррит. Для всех сталей в тонком поверхностном слое наблюдается значительная пластическая деформация.

**Исследование влияния уровня твердости железнодорожных колес и содержания в них углерода на чувствительность к образованию дефектов теплового происхождения**

Использовались образцы, вырезанные из колес марки Т, термически обработанные на различный уровень твердости (табл. 1 и 2; пл. 32223 – 337 НВ, пл. 32740 – 315 НВ). Результаты исследований показали (рис. 2), что при близком химическом составе колес из стали марки Т, повышение исходной твердости (прочности) не оказывает влияния на толщину «белого слоя». При этом происходит повышение твердости «белого слоя» (при исходной твердости 315 и 337 НВ микротвердость «белого слоя» составляет 8000 и 9500 Н/мм<sup>2</sup>, соответственно).

Установлено, что при повышении содержания углерода от 0,46 до 0,65 % глубина мартенситного слоя увеличивается от 0,5 до 1,1 мм. Кроме увеличения глубины «белого слоя», повышение содержания углерода также приводит к существенному повышению микротвердости указанной структурной составляющей (при повышении содержания углерода от 0,46 до 0,65 % микротвердость «белого слоя» возрастает примерно от 5500 до 9500 Н/мм<sup>2</sup>, т.е. более чем на 70 %) (рис. 3).

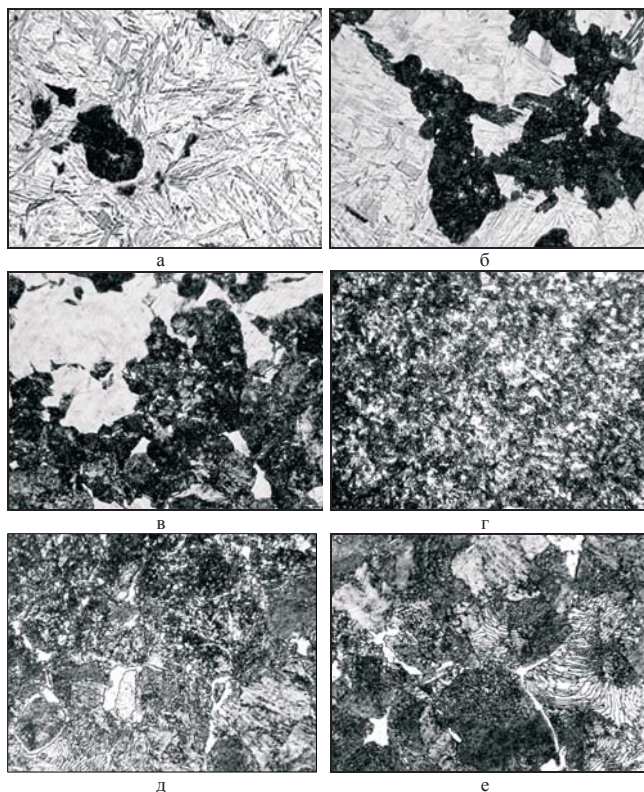


Рис. 1. Микроструктура образцов из стали марки Т после торможения на стенде: а-б – «белый слой»; в-д – переходная зона; е – основной металл, × 1000

По результатам выполненных исследований была установлена зависимость глубины мартенситного слоя от содержания углерода в исследуемых сталях для железнодорожных колес (рис. 4).

Анализ рис. 4 показывает, что зависимость между указанными характеристиками имеет нелинейный характер. Статистическая обработка полученных результатов показала, что с наибольшей достоверностью полученная зависимость описывается уравнением второй степени (коэффициент корреляции  $R = 0,99$ ), которое имеет следующий вид

$$T = 15,32 \times (C)^2 - 14,15 \times (C) + 3,78, \quad (1)$$

где  $t$  – толщина белого слоя, мм;  $C$  – содержание углерода, %.

Такой сложный нелинейный характер зависимости (1) может быть связан с тем, что на формирование «белого слоя» оказывают влияние целый ряд факторов: повышение устойчивости аустенита с увеличением содержания углерода в стали, различное влияние легирующих элементов и пластической деформации на кинетику мартенситного превращения в зависимости от содержания углерода в стали. Особенно следует обратить внимание на то, что образование мартенсита в поверхностных слоях обода колеса происходит одновременно с пластической деформацией этих слоев. Величина этой деформации при одних и тех же внешних нагрузках на обод колеса в сталях с различным содержанием углерода различная и определяется пределом текучести этих сталей, который, как известно, с увеличением содержания углерода повышается. По данным многих авторов пластиче-

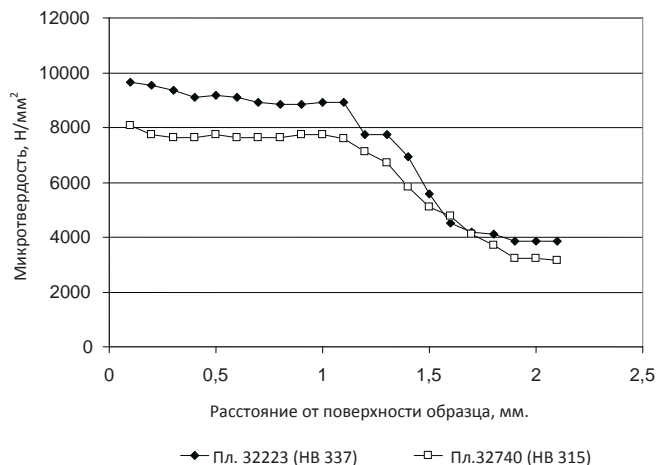


Рис. 2. Изменение микротвердости по сечению образцов, вырезанных из колес марки Т с различным уровнем твердости, после торможения на стенде

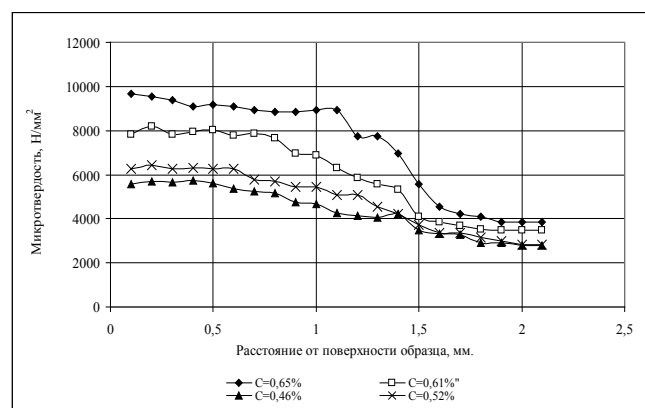


Рис. 3. Изменение микротвердости по сечению образцов, вырезанных из ободьев железнодорожных колес с различным содержанием углерода, после торможения на стенде

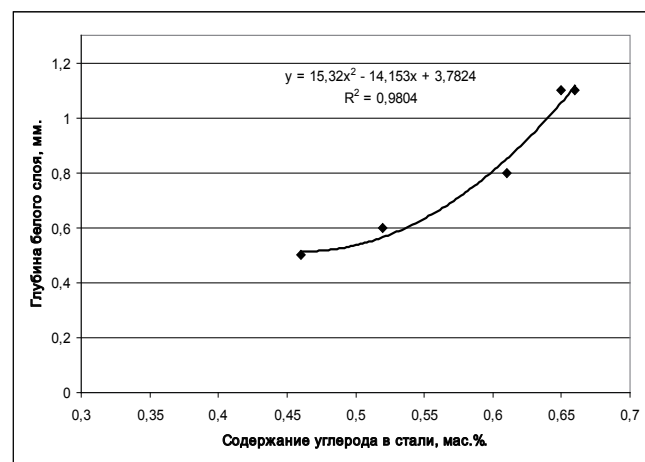


Рис. 4. Влияние содержания углерода в колесах на глубину «белого слоя»

ская деформация влияет сложным образом на мартенситное превращение и во многих случаях может оказывать на процесс его образования стабилизирующее влияние, т.е. уменьшать количество этой структурной составляющей [6].

Результаты расчетов с помощью уравнения (1) среднего значения глубины мартенситного слоя для различных интервалов содержаний углерода показывают (табл. 3), что повышение содержания углерода в колесах в пределах от 0,45 до 0,50 % практически не



оказывает влияния на этот показатель. Для колес с содержанием углерода 0,51-0,55 % глубина мартенситного слоя увеличивается в несколько раз. Еще более значимо этот показатель увеличивается для колес с содержанием углерода 0,56-0,60 % (0,035 мм). И, наконец, для колес с содержанием углерода 0,61-0,65 % и 0,66-0,69 % этот показатель имеет максимальное значение и равен 0,050 и 0,064 мм, соответственно.

**Выводы**

1. В работе показано, что показателями стойкости колес к образованию на поверхности катания дефектов теплового происхождения являются глубина мартенситного слоя, который образуется при нагреве колеса в процессе торможения и последующем охлаждении, его твердость и формируемая микроструктура. Установлено, что изменение исходной твердости (прочности) колес не оказывает влияния на глубину мартенситного слоя.

2. Установлено, что повышение содержания углерода в колесах приводит к увеличению глубины мартенситного слоя. Зависимость между указанными характеристиками описывается уравнением второй степени. Показано, что с повышением содержания углерода в колесах интенсивность его отрицательного влияния на стойкость к образованию дефектов на поверхности катания возрастает.

**Библиографический список**

1. Контактно-усталостное повреждение колес грузовых вагонов / Тр. ВНИИЖТ; под ред. С.М. Захарова.- М.: Интекст, 2004. - 160 с.

**Таблица 3. Влияние содержания углерода в железнодорожных колесах на их стойкость к образованию дефектов на поверхности катания**

Интервал изменения содержания углерода, %	Среднее увеличение глубины мартенситного слоя (мм/0,01 %)
0,45-0,50	0,004
0,51-0,55	0,019
0,56-0,60	0,035
0,61-0,65	0,050
0,66-0,69	0,064

2. «Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм» 305-Ц Міністерство транспорту України, Державна адміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця, 2001 р.

3. Колесная сталь / Узлов И.Г., Гасик М.И., Есаулов А.Т. и др. – К.: Техника, 1985. – 168 с.

4. Исследование причин образования дефектов на поверхности катания высокопрочных колес в процессе эксплуатации / А.И. Бабаченко, А.А. Кононенко, Ж.А. Дементьева и др. // Залізничний транспорт України. - 2010. - № 5. - С. 35-38.

5. Дружинін М.О., Сухомлин В.І., Нестеренко А.М., Книш А.В. Особливості структури білих шарів на поверхні катання залізничних коліс // Металознавство та обробка металів.. – 2008. - № 2. – С. 3-7.

6. Курдюмов Г.В., Максимова О.П., Никанорова А.И. Об активизирующем влиянии пластической деформации на мартенситное превращение. «Доклады АН СССР» 1957, № 4.

Поступила 20.11.2012

УДК 669.15-194.55

Волчок И.П. /д.т.н./, Акимов И.В. /к.т.н./  
Запорожский НТУ

Наука

**Термостойкость графитизированных сталей**

*Рассмотрена возможность применения графитизированных сталей взамен чугунов для деталей, работающих в условиях термоциклических нагрузок. Проведены сравнительные испытания графитизированных сталей и чугунов и определен ряд характеристик, определяющих стойкость материала при работе в условиях термоциклирования. Эффективность применения графитизированных сталей подтверждена результатами опытно-промышленного опробования. Ил. 2. Табл. 2. Библиогр.: 8 назв.*

**Ключевые слова:** графитизированная сталь, теплопроводность, термо-, окислостойкость

*The possibility of using graphitized steel instead of cast iron for parts operating under thermal cycling loads is considered. Comparative tests of graphitized steels and cast irons are conducted and a number of characteristics that determine the resistance of the material when working in cycling are identified: strength, ductility, thermal conductivity, heat resistance, scaling resistance, high temperature endurance. Effectiveness of graphitized steels is confirmed by the results of pilot testing.*

**Keywords:** graphitized steel, thermal conductivity, heat resistance, resistance to scaling

К графитизированным сталям относятся, как правило, заэвтектоидные сплавы, в которых часть или весь углерод находится в виде графитовых включе-

ний. Основными легирующими элементами в таких сталях являются С (0,8-1,6 %), Si (0,75-2,5 %) и Mn (0,2-1,2 %). Находят также применение Cr, Ni, Mo, Cu, Al, Ti, Ce, PЗМ. С учетом хорошей демпфирую-

© Волчок И.П., Акимов И.В., 2013 г.