

**А.И.Бабаченко, А.А.Кононенко, П.Л.Литвиненко, А.В.Кныш,  
Ж.А.Дементьева, А.Н.Хулин, А.Н.Савченков, Е.А.Шпак**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ К ОБРАЗОВАНИЮ ВЫЩЕРБИН НА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ ПРОЧНОСТИ**

Целью работы являлось исследование особенностей образования выщербин теплового происхождения в железнодорожных колесах в процессе их эксплуатации. В лабораторных условиях установлены закономерности влияния уровня прочности и химического состава стали для производства железнодорожных колес на ее стойкость к образованию дефектов теплового происхождения. Показано, что механизм образования выщербин связан с образованием на поверхности катания хрупкой структурной составляющей высокоуглеродистого мартенсита и ее последующим выкрашиванию под действием эксплуатационных нагрузок.

**железнодорожные колеса, прочность, химический состав, эксплуатационные нагрузки, дефекты теплового происхождения**

### **Состояние вопроса.**

В последние годы 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 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 % и ванадия 0,08–0,15 %). Все эти мероприятия положительно сказались на повышении прочности колес в сравнении с колесами из стали марки 2 с содержанием углерода 0,55–0,65 %, что позволило значительно снизить износ как их поверхности катания (прокат), так и боковой поверхности гребня. Статистические данные, полученные по результатам исследований РЖД, свидетельствуют о заметном перераспределении причин обточка 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].

В настоящее время одним из наиболее распространенных видов дефектов на поверхности катания железнодорожных колес являются выщербины. При классификации дефектов колес выделяют три типа выщербин [2]: образованные по светлым пятнам (ползунам, наварам); по усталостным трещинам; по сетке термотрещин – выкрашивание участков поверхности катания, на которых имеются поперечные термотрещины, возникшие вследствие ее нагрева тормозными колодками.

Из перечисленных типов выщербин, наиболее распространенными, как свидетельствуют литературные данные, являются дефекты, которые образовались в результате теплового воздействия на поверхность катания колеса [1, 3]. По данным автора работы [1] на железных дорогах России их доля составляет около 70% от общего количества выщербин. Результаты комиссионного осмотра колесных пар на ВЧД-7 (ст. Здолбунов) и ВЧД-8 (ст. Кривой Рог сорт.), проведенные представителями ИЧМ НАНУ, ДНУЖТ и ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» в 2009 году, свидетельствуют о том, что на железных дорогах Украины в некоторых случаях эта доля может превышать 80% (рис.1).

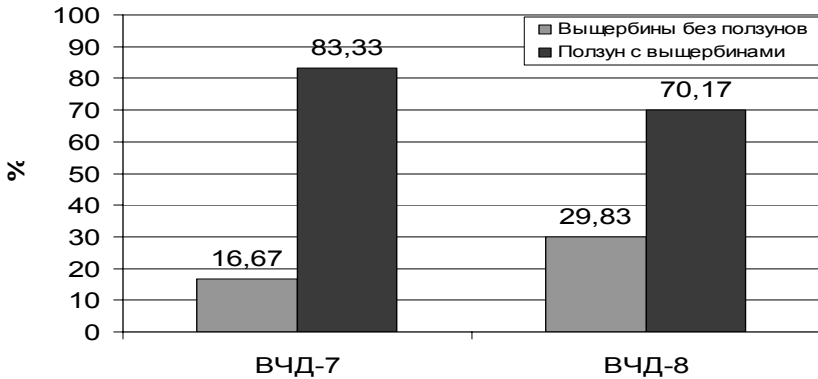


Рис.1. Результаты комиссионного осмотра дефектов на поверхности катания железнодорожных колес

Выщербины тормозного происхождения образуются и развиваются в результате структурных изменений поверхностных слоев обода колеса при его движении «юзом» во время интенсивного торможения. В контакте трения материал обода колеса нагревается до высоких температур и при прекращении торможения интенсивно охлаждается путем отвода тепла в массивный обод. В результате структурных изменений образуется так называемый «белый слой», который легко выкрашивается с контактной поверхности обода колеса при дальнейшей его эксплуатации.

Известно, что на образование выщербин влияет целый ряд факторов эксплуатационного и материаловедческого характера. К первым относятся интенсивность торможения, скорость движения вагона, состояние тормозной системы и др. Материаловедческими факторами в первую очередь являются химический состав колесной стали и уровень твердости колеса. Многими авторами было показано, что условия эксплуатации оказывают определяющее влияние на процесс образования выщербин [1, 3, 4]. Однако перечисленные выше материаловедческие факторы также могут оказы-

вать определенное влияние на чувствительность сталей к образованию дефектов теплового происхождения.

**Цель работы:**

1. Исследование особенностей образования выщербин теплового происхождения (образовавшихся на ползуне) и изучение механизма образования этих дефектов в железнодорожных колесах различного химического состава (различных уровней прочности) в процессе их эксплуатации.

2. Исследования влияния уровня твердости железнодорожных колес марки Т на их стойкость к образованию дефектов теплового воздействия.

3. Исследование влияния химического состава колесной стали на ее стойкость к образованию дефектов теплового воздействия из колес марок Т и 2, термически обработанных на близкий уровень твердости

**Изложение основных материалов исследования.**

В вагонном депо были отобраны железнодорожные колеса из стали марок 2 по ДСТУ ГОСТ 10791:2006 и марки «Т» по ТУ У 35.2–23365425–600:2006, отбракованные по дефекту «выщербина на ползуне». Химический состав железнодорожных колес представлен в табл. 1.

Таблица 1 Химический состав железнодорожных колес

№ плавки	Содержание элементов, % по массе										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al	Ti
21125	0,67	0,80	0,35	0,015	0,006	0,20	0,11	0,05	0,087	0,028	0,006
21435	0,58	0,66	0,35	0,011	0,010	0,09	0,07	0,07	0,00	0,028	0,006

Исследования микроструктуры, проведенные на шлифах, травленных нителем, показали, что в поверхностных слоях ободьев колес вблизи дефектов присутствует слабо травимая область, которая в литературе называется «белый слой». Трещины, образовавшиеся на поверхности катания колеса, распространяются вдоль границы между «белым слоем» и металлом, не претерпевшим структурные изменения в процессе эксплуатации. Толщина «белого слоя» в исследуемых участках составляла около 2 мм, максимальная наблюдаемая глубина распространения трещины – около 3 мм (рис.2).

Исследования микротвердости показали, что образование «белого слоя» со структурой мартенсита приводит к значительному упрочению поверхностных слоев обода до уровня микротвердости 5500–5800 Н/мм<sup>2</sup> и 7000–8000 Н/мм<sup>2</sup> для колес марки Т и 2 соответственно, что значительно отличается от микротвердости основного металла – 4100–4300 и 3300–3600 Н/мм<sup>2</sup> для указанных типов колес, соответственно. Несмотря на выявленные некоторые отличия в механизме образования дефектов для колес исследуемых марок стали (различные по внешнему виду характер выщербин и структура металла в зоне, прилегающей к области, содержа-

щей исследуемый дефект), природа образования указанного дефекта одинаковая. Эти различия могут быть обусловлены в большей степени различными условиями эксплуатации, характером возникающего при этом высокотемпературного и силового воздействия на металл, чем его химическим составом и исходной структурой.

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 постоянным.

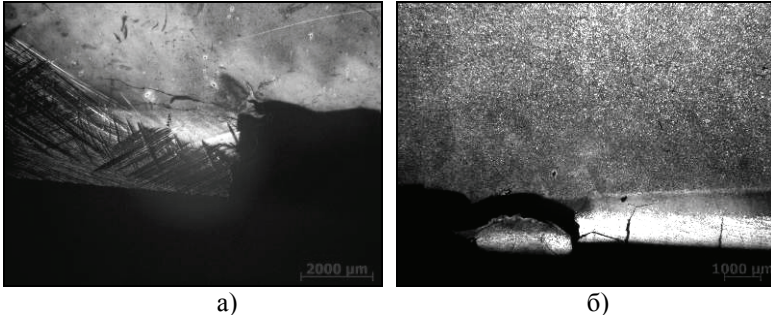


Рис.2 Общий вид дефектов в металле ободьев колес. а) из стали марки Т, б) из стали марки 2

В связи с этим такие исследования могут проводиться только в лабораторных условиях. Для проведения указанных исследований была использована методика, разработанная д.т.н., проф. Узловым И.Г. Исследования проводились на специальном стенде (рис. 3), который позволяет моделировать условия торможения железнодорожных колес в процессе эксплуатации. Принцип работы испытательного стенда заключается в следующем: маховик диаметром 1 м с поверхностью, выполненной по профилю головки рельса, вращается с линейной скоростью на поверхности 27,8 м/с (100 км/час). В процессе вращения к поверхности маховика гидравлически прижимается образец из исследуемой стали размерами 100×60×24 мм в течение заданного времени с усилием, которое может изменяться от 0 до 1000 кгс. После этого образец быстро отводится от маховика. В результате такого воздействия моделируются условия торможения колеса в процессе эксплуатации, а в месте контакта образуется поверхностный дефект теплового воздействия – «белый слой» повышенной твердости.

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

С целью определения оптимальных параметров нагружения образцов, вырезанных из колесных сталей различного химического состава, были

проведены специальные исследования. Оптимальным усилием прижатия образца к вращающему маховику была определена нагрузка 700 кГс, обеспечивающая продолжительное прижатие без изменения параметров воздействия на образец. При проведении исследований по выбору оптимального времени нагружения образца (в диапазоне от 0 до 10 секунд) изучались температурные поля по сечению образца, для чего в его средней части были вмонтированы термодпары на различной глубине (1, 2, 3 и 4 мм) от поверхности воздействия. Результаты исследований показали, что оптимальное время нагружения составляет 5 секунд.



Рис.3. Испытательный стенд для моделирования условий торможения железнодорожных колес

Превышение указанного оптимального времени прижатия образца (например, до 10 секунд), как показали исследования, приводит к значительному превышению температуры  $A_{C3}$  поверхностного слоя и даже оплавлению отдельных участков опытного образца.

Установленные опытным путем оптимальные параметры нагружения (усилие прижатия 700 кГс, время прижатия 5 секунд) обеспечивают разогрев образцов из колесных сталей различного химического состава до температуры 800–850<sup>0</sup>С, что выше точки  $A_{C3}$  для исследуемых сталей, и является вполне достаточным для протекания аустенитного превращения. Последующее ускоренное охлаждение опытного образца за счет отвода тепла в массивный обод приводит к образованию в нем структур закалки на глубину, близкую к глубине «белых слоев» получаемых в процессе эксплуатации железнодорожного колеса. При этом скорость охлаждения в критическом интервале температур, как показывают расчеты, составляет 350–400<sup>0</sup>С/с, что выше критической скорости закалки для колесных сталей. Получаемая типичная микроструктура белого слоя, переходной зоны и основного металла железнодорожных колес марки Т показана на рис. 4.

Исследования влияния уровня твердости железнодорожных колес марки Т на их стойкость к образованию дефектов теплового воздействия проводились на образцах, вырезанных из ободьев железнодорожных колес производства ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» близкого химического состава (табл.2) и обработанных на различный уровень твердости (пл. 32223 – 337 НВ, пл. 32740 – 315 НВ).

Таблица 2. Химический состав железнодорожных колес и их исходная твердость

№ плавки	Содержание элементов, % по массе											Твердость металла, НВ
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al	Ti	
32223	0,66	0,73	0,33	0,008	0,007	0,19	0,12	0,06	0,085	0,019	0,006	337
32740	0,65	0,80	0,36	0,020	0,005	0,20	0,117	0,07	0,088	0,027	0,006	315
42429	0,61	0,68	0,32	0,007	0,013	0,07	0,05	0,08	–	0,028	0,006	298

Основными показателями, характеризующими стойкость колесной стали к образованию дефектов теплового воздействия, являются твердость образовавшегося «белого слоя» и его толщина. Как показали исследования (рис. 5) при повышении твердости металла обода железнодорожного колеса (от 315 до 337 НВ) происходит увеличение твердости закаленного слоя примерно на  $1500 \text{ Н/мм}^2$  при этом глубина его образования остается на одном уровне и составляет примерно 1,2 мм, что по-видимому связано с содержанием углерода в стали.

Для изучения влияния химического состава колесной стали на ее стойкость к образованию дефектов теплового воздействия из колес марок Т и 2, термически обработанных на близкий уровень твердости (315 и 298 НВ соответственно), были вырезаны образцы для проведения исследований. Химический состав колес представлен в таблице 2.

Результаты исследований показывают, что увеличение содержания углерода в колесной стали приводит к повышению ее чувствительности к термическому воздействию: глубина «белого слоя» у образца стали марки Т больше ~ на 30 % по сравнению с образцом из стали марки 2 (рис. 5), что подтверждает результаты, полученные другими авторами [3, 5] о влиянии химического состава (в частности – углерода) на чувствительность сталей для железнодорожных колес к образованию дефектов теплового происхождения и ухудшении этого показателя при повышении содержания углерода в стали. Это связано со снижением критической точки  $A_{C3}$  и повышением устойчивости аустенита при изменении химического состава.

При этом величина микротвердости для исследуемых сталей с различным содержанием углерода одинаковая и составляет  $8000 \text{ Н/мм}^2$  (рис. 5). Этот, на первый взгляд, неожиданный результат объясняется, по-видимому, трудностью перевода в аустенит углерода, связанного ванадием в карбиды в стали марки Т, и, вследствие этого, пониженным его содержанием в перлите [3].

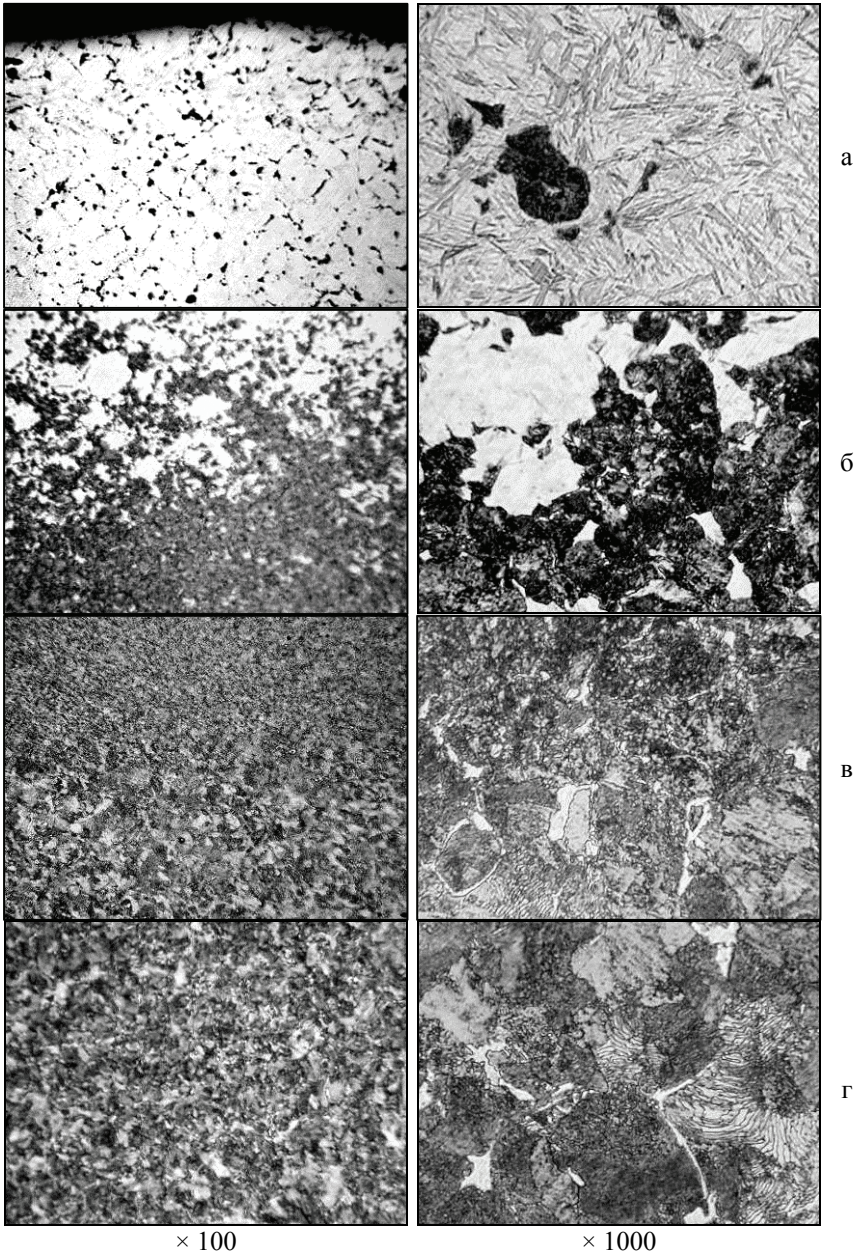


Рис.4. Микроструктура «белого слоя» на образцах из колесной стали марки Т: а – «белый слой»; б, в – переходная зона; г – основной металл

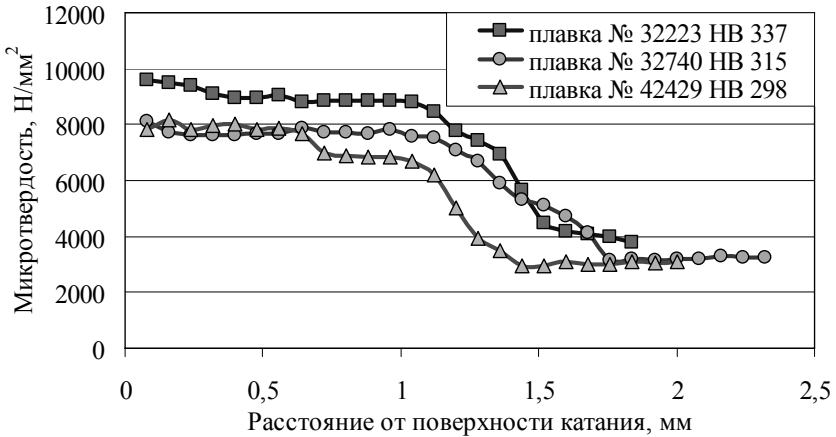


Рис.5. Изменение микротвердости по глубине «белого слоя» на образцах из колесной стали марки 2 и марки Т с различным уровнем твердости добавить HB образцов

Исследования микроструктуры свидетельствуют о том, что в поверхностных слоях исследуемых образцов образовалась слабо травимая область с повышенной твердостью и структурой высокоуглеродистого мартенсита, называемая в литературе «белый слой», аналогичная той, которая была обнаружена в поверхностных слоях железнодорожных колес с дефектами типа «выщербины».

Далее по сечению образцов при переходе от «белого слоя» к основному металлу наблюдается область повышенной травимости перлитных колоний. Этот участок нагревался выше точки  $A_{C1}$  и в перлитных колониях появлялись участки аустенита. Такой аустенит неоднороден по углероду и в контакте с ферритом и цементитом является слабоустойчивым. Поэтому после прекращения нагрева от контактной поверхности происходит его распад 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 избыточного феррита увеличивается. Структура основного металла представляет собой перлит со структурно свободным ферритом.

**Выводы.** Результаты исследований показали, что механизм образования дефекта типа «выщербина» для колес марки 2 и марки Т одинаковый и связан с образованием на поверхности катания хрупкой структурной составляющей высокоуглеродистого мартенсита и ее последующим выкрашиванием под действием эксплуатационных нагрузок.



Повышение исходной твердости (прочности) колес марки Т не оказывает влияния на толщину «белого слоя», образовавшегося в исследуемых образцах. Однако при этом происходит формирование более твердой и, как следствие, более хрупкой структуры «белого слоя» (в исследуемом случае при повышении твердости от 315 до 337 НВ микротвердость белого слоя возрастает от 8130 до 9600 Н/мм<sup>2</sup>). При близком уровне твердости железнодорожных колес различного химического состава (марка Т и 2) в них образуется одинаковая по микротвердости, но различная по глубине структура «белого слоя».

1. *Контактно-усталостное повреждение колес грузовых вагонов.* / Под ред. д.т.н., проф. С.М. Захарова. // Труды ВНИИЖТ. – М.: Интекст, 2004. – 160с.
2. *Классификация неисправностей вагонных колесных пар и их элементов.* – М.:Транспорт, 1978. – 31с.
3. *Колесная сталь* / И.Г.Узлов, М.И.Гасик, А.Т.Есаулов и др. – К.: Техника, 1985. – 168 с.
4. *Особливості структури білих шарів на поверхні катання залізничних коліс.* / М.О.Дружинін, В.І.Сухомлин, А.М.Нестеренко, А.В.Книш // *Металознавство та обробка металів.* –№2. – 2008. – С.3–7.

*Статья рекомендована к печати:  
докт. техн. наук, проф. И.Г.Узловым  
рецензент канд. техн. наук, В.А. Луценко*

***О.І.Бабаченко, Г.А.Кононенко, П.Л.Литвиненко, А.В.Книш,  
Ж.А.Демент'єва, А.М.Хулін, О.М.Савченков, О.А.Шпак***

***Дослідження стійкості до утворення вищербин на поверхні кочення залізничних коліс різних рівнів міцності***

Метою роботи є дослідження особливостей утворення дефектів теплового походження в залізничних колесах в процесі їх експлуатації. У лабораторних умовах встановлені закономірності впливу рівня міцності і хімічного складу сталі залізничних коліс на її на стійкість до утворення дефектів теплового походження. Показано, що механізм утворення вищербін пов'язаний з появою на поверхні катання крихкої структурної складової високовуглецевого мартенсіту і її подальшим викришиванням під дією експлуатаційних навантажень.