

## ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС ОБЪЕМНОЙ ЗАКАЛКОЙ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ

*Канаев А.Т.<sup>1</sup>, Орынбеков<sup>2</sup> Д.Р.,  
Богомолв А.В.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина,

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,

<sup>3</sup>Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова,

### **Аннотация**

Применительно к цельнокатаным колесам грузовых вагонов показаны преимущества дифференцированной закалки всех элементов колеса в сравнении с закалкой только поверхности катания обода колеса.

Отмечено, что наиболее широкие возможности повышения эксплуатационных свойств тяжело нагруженных деталей и изделий можно реализовать при применении технологии комплексного упрочнения, включающей дифференцированную объемную закалку и поверхностное плазменное упрочнение.

Показано, что наряду с улучшением механических свойств плазменное упрочнение после объемной закалки позволяет существенно повысить трещиностойкость исследованных сталей по сравнению с объемной закалкой без плазменного упрочнения. Мартенситная структура упрочненного слоя при такой комплексной обработке по сравнению с мартенситной структурой объемно-закаленной основы характеризуется более высокой степенью дисперсности, что обусловлено уменьшением размеров исходного аустенитного зерна в связи с очень высокими скоростями нагрева и охлаждения, а также с малой длительностью пребывания стали при высоких температурах.

Для повышения твердости и стойкости против образования трещин рекомендуется использование плазменной обработки в комплексе с предварительной объемной закалкой. При поверхностном плазменном упрочнении в объемно-закаленных деталях и изделиях формируется композиционный рабочий слой с высокой износостойкостью и трещиностойкостью и относительно мягкой и пластичной сердцевиной.

**Ключевые слова:** комплексное упрочнение, трещиностойкость, цельнокатаное колесо, дифференцированная закалка, структура, степень дисперсности, свойства, износостойкость, плазменная обработка

### **Введение**

Цельнокатаные колеса грузовых вагонов, являясь деталью ответственного назначения, работают в сложных условиях действия высоких циклических нагрузок в элементах колеса (диске, ступице и ободе), значительного разогрева контактных зон при торможении и возникновения пиковых напряжений. Так, во время движения поезда колеса испытывают несколько видов нагрузок: статическое давление подвижного состава на рельс, силы трения при торможении; динамическую нагрузку от ударов колес о стыки рельсов.

При выходе нагретого участка из зоны контакта происходит быстрое охлаждение колеса, что может привести к образованию сетки трещин и разрушению поверхности катания. На поверхности катания колеса наблюдаются также выкрашивания, вызванные усталостью металла. Постепенное накопление повреждений металла, приводящее к усталости, происходит под действием повторных или повторно-переменных напряжений, обуславливая интенсивное изнашивание и разрушение. По оценке специалистов железных дорог, колеса выходят из строя по 55 эксплуатационным дефектам, но доминирующими являются износ гребней, прокат (истирание в процессе износа) и выщербины. В данной работе обращается внимание именно этим дефектам.

Важнейшей особенностью усталости является то, что она развивается при напряжениях

значительно меньших, чем временное сопротивление –  $\sigma_b$  которое, как известно, является мерой прочности материала при статическом нагружении. Для практики важно то, что способность материала выдерживать повторно-переменные нагрузки существенно ниже статической прочности. Следует также подчеркнуть, что разрушение в результате усталости во многих случаях не сопровождается заметной макродеформацией детали, поэтому такое разрушение трудно предупредить.

Таким образом, тяжелые условия эксплуатации железнодорожных колес предъявляет к ним требования высокой прочности и твердости, контактной выносливости и вязкости. Поэтому колеса должны обладать высокой конструктивной прочностью, т.е. комплексом свойств, гарантирующих безопасность движения поездов и большой срок эксплуатации [1].

В этой связи следует отметить, что механические характеристики материала, определяемые при статических испытаниях, например, по ГОСТ 1497-94 не в полной мере отражают условий работы конкретного изделия. Прочностные и пластические свойства, определяемые при статических испытаниях хотя и имеют большое значение, однако они во многих случаях не характеризуют прочность материалов в реальных условиях эксплуатации деталей. Они могут быть использованы для

ограниченного количества деталей и изделий, работающих в условиях статической нагрузки при температурах, близких к комнатной. Отсюда не следует отрицание значения механических свойств, определяемых при статических испытаниях. Для отражения реальных условий эксплуатации деталей и узлов необходимо дополнить статические испытания динамическими, циклическими и другими испытаниями, учитывающими надежность и долговечность изделий. Поэтому по характеристикам прочности и пластичности, определяемым соответствующим конкретным стандартам, трудно установить, какая из применяемых сталей

лучше в реальных условиях эксплуатации. Отсюда возникает задача оценки конструктивной прочности сталей, характеризующей работоспособность изделий в реальных условиях эксплуатации., т.е. о конструктивной прочности материала, которая находится в корреляции со служебными свойствами данного изделия. Поэтому к понятию «прочности», применительно к вагонным колесам, предъявляются несколько иные требования, смысл которых сводится к обязательности сочетания усталостной прочности, износо и трещиностойкости с достаточным запасом пластичности и вязкости.

### **Материалы и методика исследований**

При применении традиционных методов объемного упрочнения одновременное повышение, как твердости рабочей поверхности, так и трещиностойкости деталей и изделий, работающих в тяжелых условиях эксплуатации, представляет трудную задачу. Поэтому представляет интерес исследование поверхностного плазменного упрочнения в сочетании традиционной объемной термической обработкой.

Применительно к цельнокатаным колесам для обоснованного выбора способа и режима традиционной термической обработки, обеспечивающего высокий комплекс механических и служебных свойств, в работе использовали два наиболее

распространенных способа термического упрочнения цельнокатаных колес:

1) закалка поверхности катания обода колеса путем обрызгивания его водой из спрейеров кольцеобразного охладительного устройства. В процессе упрочнения колес, вращающихся в горизонтальном положении, вода подается на весь круг катания обода из спрейера кольцевого охладителя. Далее следует отпуск при 450-480 °С;

2) закалка всех элементов колеса путем прерывистого способа охлаждения с подачей воды через спрейерные устройства. При этом предусмотрена возможность регулирования скоростей охлаждения обода, диска и ступицы, что создает

необходимые условия для получения минимального уровня остаточных напряжений и коробления. Отпуск при 480-500 С;  $\tau = 2$  часа; охлаждение после отпуска - на воздухе. (Охлаждающая вода подается на все элементы колеса, вращающегося в вертикальном положении через спрейерные устройства).

В последние годы для регулирования эксплуатационных свойств наиболее нагруженных деталей и изделий используются технологии комплексного упрочнения, включающие предварительную объемную термическую обработку и поверхностное плазменное упрочнение.

В данной работе предпринята попытка, после дифференцированной объемной закалки, поверхность катания обода колеса обработать плазменной дугой. Режимы плазменной закалки по силе тока (275 А), напряжению плазменной дуги (120 В), расходу плазмообразующего газа (5 л/мин) выбирались в соответствии с общепринятыми рекомендациями. При этом получали плазменно-закаленный слой глубиной 0,9-1,0 мм с микротвердостью поверхности 900 -950 HV[2].

Термическому упрочнению подвергали цельнокатаные колеса, изготовленные из углеродистой стали марки 2, химический состав которых приведен в таблице 1 (ГОСТ 10791-2011).

Таблица 1 – Химический состав колесных сталей (%)

№	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu
1	0,650	0,810	0,340	0,015	0,018	0,19	0,21	0,15

Механические свойства стали ободьев колес, подвергнутых упрочняющей термической обработке ( $\delta$ ,  $\Psi$ ) определяли на образце диаметром 15 мм с расчетной длиной 60 мм, ударную

вязкость -  $KCU$  на образцах типа 1 по ГОСТ 9454, твердость–  $HV$  по ГОСТ 9012 шариком диаметром 10 мм при нагрузке 29430 Н (таблица 2).

Таблица 2 – Механические свойства колесной стали

№	$\sigma_b, Н/мм^2$	$\delta, \%$	$\Psi, \%$	$KCU, Дж/см^2$	$HV$ на глубине 30 мм	$HV$ гребня
1	1105	10,5	22,0	0,34	275	290

Для исследования износостойкости и сопротивления усталостному выкрашиванию были вырезаны образцы из слоев,

находящихся на глубине 15, 30, 45 и 60 мм от поверхности катания.

Изучали микроструктуру образцов, глубину упрочненного слоя, показатели механических

свойств и распределение твердости НВ по сечению. Микрошлифы для исследования готовили по стандартной методике, исключая возможное нарушение исходной микроструктуры.

Микроскопические исследования проводили на оптическом микроскопе "Neophot" при увеличении х200 на микрошлифах, вырезанных в поперечном направлении из сегмента с условием сохранения

упрочненного слоя. Электронно-микроскопические исследования выполнены на просвечивающем электронном микроскопе Jeo JEM 2100. Прочностные и пластические характеристики определяли на испытательной установке «Инстрон», предварительно подготовив образцы по ГОСТ 1497-94. Места вырезки образцов из ободьев колес для испытаний согласно пункта 3.4 ГОСТ 10791-2011.

### Основные результаты исследований НИР

Для сравнения структуры и механических свойств образцов, упрочненных разными способами, проведено термоупрочнение только поверхности катания и всех

элементов колеса (обода, диска и ступицы). Механические свойства и число ударов до получения прогиба 30 мм приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Механические свойства опытных колес, упрочненных различными способами

Содержание углерода, С, %	Вид термообработки	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	Число ударов до получения прогиба 30 мм
0,65	Упрочнение на горизонтальном вращающемся столе	1040	15,0	36	15
	Упрочнение всех элементов колеса, вращающегося в вертикальном положении	1080	14,0	35	18

ак видно из таблицы 3, прочностные свойства ободьев колес, подвергнутых прерывистому упрочнению, на 40МПа выше, чем подвергнутых термообработке на горизонтальном вращающемся столе. Пластические свойства ободьев колес, упрочненных различными способами (горизонтальном или вертикальном положениях) практически одинаковы. Для колес, термообработанных с упрочнением всех элементов, характерна более высокая энергия упругой отдачи колеса, а для получения прогиба диска 30 мм у этих колес необходимо затратить энергию значительно большую, чем для

колес, термообработанных без упрочнения диска колеса.

Заметим, что повышение прочности катания только обода колеса имеет существенные недостатки: значительная величина остаточных напряжений, структуры отпуска с карбидами зернистого типа, низкая сопротивляемость возникновению и распространению трещин[3-5].

Результаты испытаний на износостойкость образцов, послойно вырезанных из ободьев колес на расстоянии 15, 30, 45 и 60мм от поверхности катания стали с 0,65<sup>0</sup>С и термообработанных прерывистой закалкой, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Изменение сопротивления смятию, износа и твердости обода колеса, термообработанных прерывистой закалкой

№	Содержание С, %	Вид термической обработки	Расстояние от поверхности, мм	Уширение слоев обода, мм	Износ, г	Твердость по Бринеллю
1	0,65	Прерывистая закалка всех элементов	15	0,34	0,51	325
2			30	0,41	0,72	313
3			45	0,48	0,71	300
4			60	0,53	0,82	294

Из приведенных данных также видно, что по мере удаления от поверхности катания уширение слоев обода (сопротивление смятию) и износ незначительно возрастают, а твердость снижается.

Для обеспечения надежности цельнокатаных колес в условиях интенсификации работы железнодорожного транспорта большое значение имеют свойства материала диска. В этой связи

материал диска колес после термической обработки прерывистой закалкой был подвергнут испытанию с определением прочности, пластичности, твердости и ударной вязкости. Результаты испытаний показывают значительное повышение предела прочности и предела текучести у образцов термически обработанных с упрочнением диска в сравнении с

образцами, прошедшими упрочнением диска колеса прерывистое упрочнение только пластические характеристики ( $\delta$ ,  $\Psi$ ) обода колеса. Из таблицы 5 изменяются незначительно. следует, что при значительном

Таблица 5 – Изменение механических свойств дисков колес термообработанных различными способами

№	Содержание углерода, %	Вид термической обработки	Механические свойства			
			$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %
1	0,65	Прерывистая закалка обода	680	480	17	32
2		Прерывистая закалка всех элементов	1050	820	12	37

Экспериментальные данные показывают также повышение уровня ударной вязкости материала дисков колес, подвергнутых термической обработке прерывистым упрочнением всех элементов колеса. Важной особенностью такой термической

обработки является не только повышение ударной вязкости диска при комнатной температуре, но и снижение порога хладноломкости колесной стали в упрочненном состоянии.

Таблица 6 – Изменение твердости по сечению и ударной вязкости термически обработанных прерывистой закалкой обода и всех элементов колеса

№	Содержание углерода, %	Вид термической обработки	Расстояние от поверхности катания, мм	Твердость по Бринелю	Ударная вязкость, МДж/м <sup>2</sup>
1	0,65	Прерывистая закалка обода	10	320	0,37
2			25	317	
3			40	311	
4			55	309	
5			70	290	
1	0,65	Прерывистая закалка всех элементов	10	303	0,49
2			25	302	
3			40	304	
4			55	298	
5			70	295	

Из таблицы 6 видно, что равномерное упрочнение диска

цельнокатаных колес позволяет получать уровень ударной вязкости

0,49МДж/м<sup>2</sup> При объемном упрочнении колес благодаря различию в сечениях обода, диска и ступицы при закалке в масле эти элементы колеса охлаждаются с различной скоростью: с максимальной скоростью охлаждается диск и с гораздо меньшей скоростью – обод и ступица. Это приводит к сильному упрочнению диска. В то же время условия эксплуатации цельнокатаных колес требуют такой степени упрочнения поверхности катания обода, которая обеспечивала бы

существенное повышение ее износостойкости и сопротивления усталостным разрушениям. Поэтому охлаждающее устройство должно обеспечивать дифференцированную закалку, т.е. регулировать скорости охлаждения так, чтобы, с одной стороны, глубже упрочнять обод колеса и, с другой стороны, во избежание возникновения больших остаточных напряжений не создавать больших различий в скорости охлаждения обода, ступицы и диска [6].

### Обсуждение полученных данных и заключение

Как показывают металлографические исследования, изменения износа, сопротивления смятию и твердости слоев обода (таблица 4) объясняется типом структур, образующихся в процессе охлаждения.

При упрочнении путем прерывистой закалки всех элементов колеса в рабочих слоях образуются высокодисперсные пластинчатые продукты распада аустенита (рисунок 1). Поскольку скорости охлаждения слоев обода

различаются незначительно, степень дисперсности продуктов распада аустенита практически не уменьшается в нижележащих слоях (15 и 30 мм) и только в слоях 45 и 60 мм она начинает уменьшаться. Это приводит к тому, что твердость, износ и сопротивление уширению значительно изменяются только, начиная, с глубины 45 мм и практически не влияет на срок службы колеса.

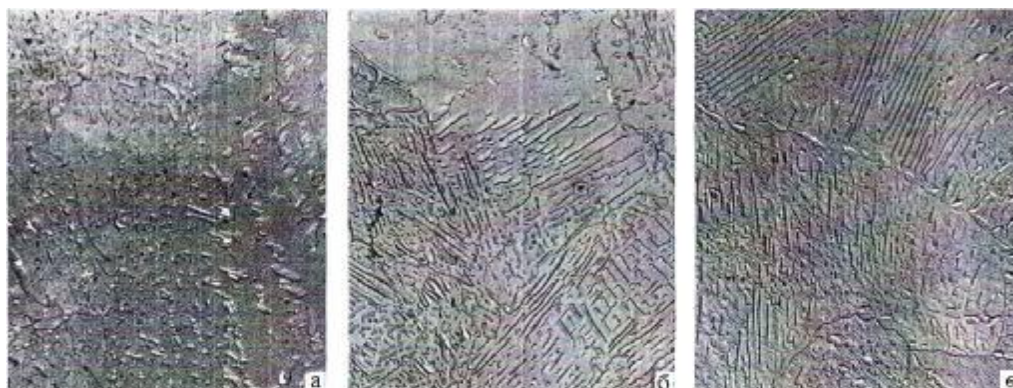




Рисунок 1 – Электронные микрофотографии структур колесной стали в различных слоях от поверхности катания, термически обработанного с прерывистым охлаждением,  $\times 1200$ ; а) на глубине 5 мм; б) на глубине 15 мм; в) на глубине 30 мм

В условиях интенсификации работы железнодорожного транспорта важное практическое значение имеет оценка трещиностойкости материалов. Этот вопрос особенно важен при разработке технологии плазменного упрочнения таких изделий, как железнодорожные колеса, валки прокатных станов. Практика показывает, что основными причинами выхода из строя этих деталей являются, с одной стороны, износ рабочей поверхности выше допустимых пределов, с другой, -интенсивное трещинообразование.

В настоящее время имеется практический опыт применения поверхностного плазменного упрочнения деталей и изделий в совокупности с объемной термической обработкой. Так, в работе [7] показана эффективность применения поверхностного плазменного упрочнения для прокатных валков из легированной стали 9Х2МФ, имеющих серийную объемную термическую обработку: закалку или нормализацию с последующим высоким отпуском. Износостойкость прокатного валка при плазменном упрочнении на 20% выше, чем после объемной термообработки. Глубина плазменно-упрочненного слоя составляет 1,5 мм с микротвердостью на поверхности 8500 МПа.

Поэтому в настоящее время для повышения твердости и стойкости против образования трещин активно используется плазменная обработка в комплексе с предварительной объемной закалкой. При поверхностном плазменном упрочнении в объемно-закаленных деталях и изделиях формируется композиционный рабочий слой с высокой износостойкостью и относительно мягкой и пластичной сердцевиной.

Физическая природа упрочнения стали под воздействием плазменной обработки связана с изменением структуры и свойств при концентрированном разогреве поверхностных слоев и последующего их охлаждения. Использование сверхвысоких скоростей нагрева и охлаждения при плазменной закалке приводит к сильному измельчению зерен (субзерен) с формированием наноструктурированных элементов фазовых и структурных составляющих упрочняемой стали [8,9].

Эффективность работы поверхностно-упрочненного изделия определяется не только прочностью и твердостью упрочненной зоны, но и образованием плавной переходной области, обеспечивающей прочность сцепления упрочненного

слоя и основного металла, высоким сопротивлением зарождению трещины и разрушению [10].

Циклические воздействия термомеханических напряжений, возникающих в поверхностных микрообъемах за счет периодического контакта колеса с рельсом, способствуют образованию на рабочей поверхности сетки микротрещин. В процессе дальнейшей эксплуатации наблюдается предпочтительный рост трещин в направлении приложения внешних нагрузок. Эти трещины при определенных условиях могут стать магистральными, что приведет к разрушению изделия.

Как известно, такой сложный механизм разрушения упрочненных материалов известен в механике композиционных материалов как «множественный механизм» [7,11].

Подчеркивая связь механических и служебных свойств изделий со структурой, следует отметить, что увеличение степени дисперсности мартенсита является одним из главных причин повышения трещино-стойкости. Уменьшение размеров мартенситных пластин при плазменной обработке обусловлено уменьшением размеров исходного аустенитного зерна в связи с очень высокими скоростями нагрева и охлаждения, а также с малой длительностью пребывания стали при высоких температурах.

Наряду с получением более благоприятной мартенситной структуры, другой важной причиной повышения

трещиностойкости при плазменном упрочнении после объемной закалки, является наличие между поверхностно-закаленной твердой зоной и объемно-закаленной мягкой зоной отпуска высокодисперсной трооститно-сорбитной структуры. Граница между закаленной и отпущенными зонами четко выявляется и она достаточно резкая. Протяженность ее также определяется величиной температурного интервала аустенитно-мартенситного ( $\gamma \rightarrow \alpha$ ) превращения.

Разрушение образцов после двойной (плазменной и объемной) закалки происходит по множественному механизму торможения трещины на границе с зоной отпуска посредством искривления ее траектории. Причинами торможения трещины является переход остаточных напряжений в этом месте от сжимающих к растягивающим и высокая пластичность материала зоны отпуска по сравнению с упрочненной зоной.

Заключение.

1. Дифференцированная закалка всех элементов колеса имеет существенные преимущества по сравнению с закалкой только поверхности катания обода колеса. Благодаря трехстороннему отводу тепла значительно упрочняются внутренние слои обода и боковые грани, увеличивается глубина упрочнения и повышается износостойкость и сопротивление усталостному разрушению.

2. Для повышения твердости и стойкости против образования трещин рекомендуется

использование плазменной обработки в комплексе с предварительной объемной закалкой. При поверхностном плазменном упрочнении в объемно-закаленных деталях и изделиях формируется композиционный рабочий слой с высокой износостойкостью и трещиностойкостью и относительно мягкой и пластичной сердцевиной.

3. Одним из главных причин повышения трещиностойкости при плазменной обработке является увеличение степени дисперсности мартенсита, что обусловлено

уменьшением размеров исходного аустенитного зерна в связи с очень высокими скоростями нагрева и охлаждения, а также с малой длительностью пребывания стали при высоких температурах.

4. Результаты проведенных испытаний свидетельствуют, что плазменное упрочнение может эффективно использоваться для деталей и изделий, эксплуатируемых в объемно-закаленном состоянии. При этом достигается одновременное повышение, как твердости рабочей поверхности, так и трещиностойкости изделий.

### Список литературы

1. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / перевод с англ. У. Харрис, С. Захаров, Д. Ланд Грен и др. М.: Интекст, 2002. -416 с.

2. Канаев А.Т., Богомолов А.В. Упрочняющая термическая обработка цельнокатаного вагонного колеса. Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2015. № 6 (109), с.129-137

3. Узлов И.Г. Савенков В.Я., Поляков С.Н. Термическая обработка проката. Киев, Техника, 1991, 159 с.

4. Исакаев Э.Х., Ильичев М.В., Тюфтев А.С. Особенности структурообразования и формирования свойств углеродистой стали при плазменной обработке // Сталь. – 2003. - № 2. - С.52-55.

5. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Структура и механические свойства металлов. М.: Изд-во «Металлургия», 1987, 472с.

6. Производство железнодорожных колес. Библик Г.А., Иоффе А.М., Праздников А.В. и др. М.: Metallurgy, 1982, 232 с.

7. Лещинский Л.К., Смотугин С.С., Пирч И.И. Плазменное поверхностное упрочнение. Киев: Техника, 1990. –109С.

8. Тушинский Л.Н., Мочалина Н.С., Плохов А.В. Свойства стали после регулируемого термопластического упрочнения при формировании структуры на макро-, мезо- и наноуровнях. Известия вузов, серия Черная металлургия, 2010, № 4, с.37 - 40

9. Влияние плазменной обработки на напряженно-деформированное состояние гребней бандажей колес локомотивов / С.Н. Киселев, А.В. Саврухин, Г.Д. Кузьмина, А.С. Киселев // Сварочное производство. -2001. - № 6. – С. 9-17.

10. Иванов П.П., Исакаев Э.Х., Изотов В.И. и др. Эффективный способ поверхностного упрочнения железнодорожных колес. Сталь, 2000, №1, с.63-66

11. Канаев А.Т., Богомолов А.В. Структурообразование в колесной стали при плазменной закалке. Астана Изд-во ТОО «Мастер-ПО, 2018, 222 с.

### References

1. Obobshhenie peredovogo opyta tjazhelovesnogo dvizhenija: voprosy vzaimodejstvija kolesa i rel'sa / perevod s angl.U. Harris, S. Zaharov, D. Land Gren i dr. M.: Intekst, 2002. -416 p.

2. Kanaev A.T., Bogomolov A.V. Uprochnjajushhaja termicheskaja obrabotka cel'nokatanogo vagonnogo kolesa. Vestnik ENU im. L.N. Gumileva, 2015. № 6 (109), p.129-137

3. Uzlov I.G. Savenkov V.Ja., Poljakov S.N. Termicheskaja obrabotka prokata.Kiev, Tehnika, 1991, 159 p.

4. Isakaev Je.H., Il'ichev M.V., Tjuftev A.S. Osobennosti strukturoobrazovanija i formirovanija svojstv pri plazmennoj obrabotke uglerodistoj stali // Stal'. – 2003. - № 2. - P.52-55.

5. Bernshtejn M.L., Zajmovskij V.A. Struktura i mehanicheskie svojstva metallov. M.: Izd-vo «Metallurgija», 1987, 472p.

6. Proizvodstvo zheleznodorozhnyh koles. Bibik G.A., Ioffe A.M., Prazdnikov A.V. i dr. M.: Metallurgija, 1982, 232 p.

7. Leshhinskij L.K., Smotugin S.S., Pirsch I.I. Plazmennoe poverhnostnoe uprochnenie. Kiev: Tehnika, 1990. –109P.

8. Tushinskij L.N., Mochalina N.S., Plohov A.V. Svojstva stali posle reguliruemogo termoplasticheskogo uprochnenija pri formirovanii struktury na makro-, mezo- i nanourovnjah. Izvestija vuzov, serija Chernaja metallurgija, 2010, №4, p.37 - 40

9. Vlijanie plazmennoj obrabotki na naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie grebnej bandazhej koles lokomotivov / S.N. Kiselev, A.V. Savruhin, G.D. Kuz'mina, A.S. Kiselev // Svarochnoe proizvodstvo. -2001. - №6. – P. 9-17.

10. Ivanov P.P., Isakaev Je.H., Izotov V.I. i dr. Jefferktivnyj sposob poverhnostnogo uprochnenija zheleznodorozhnyh koles. Stal', 2000, №1, p.63-66

11. Kanaev A.T., Bogomolov A.V. Strukturoobrazovanie v plazmennouprochnennyh metallicheskih materialah. Pavlodar, Izd-vo firmy «Politon», 2015, 184 p.

### DIFFERENTIATED HARDENING OF RAILWAY WHEELS BY MASSIVE HEAT HARDENING AND SUPERFICIAL PLASMA TREATMENT

*Kanaev A.T.<sup>1</sup>, Orynbekov D.R.<sup>2</sup>,  
Bogomolov A.V.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University,*  
<sup>2</sup>*L.N. Gumilyov Eurasian National University,*  
<sup>3</sup>*S. Toraigyrov Pavlodar State University,*

## **Summary**

Differential hardening of all wheel elements has significant advantages compared with hardening only the tread surface of the wheel rim. Due to the trilateral heat removal, the inner layers of the rim and side edges are significantly strengthened, the depth of hardening increases and the wear resistance and resistance to fatigue failure increase. To increase the hardness and resistance to the formation of cracks, the use of plasma treatment in the complex with the preliminary volume quenching is recommended.

One of the main reasons for the increase in crack resistance during plasma processing is an increase in the degree of dispersion of martensite, which is due to a decrease in the size of the original austenitic grain due to the very high heating and cooling rates, as well as the short residence time of steel at high temperatures.

The results of the tests indicate that plasma hardening can be effectively used for parts and products operated in a volume-hardened state. When this is achieved a simultaneous increase in both the hardness of the working surface and the crack resistance of products.

**Keywords:** complex hardening, crack resistance, solid-rolled wheels, differentiated hardening, structure, degree of dispersion, properties, wear resistance, plasma treatment

## **ТЕМІРЖОЛ ДОҢҒАЛАҚТАРЫН КӨЛЕМДІ ШЫНЫҚТЫРУ ЖӘНЕ СЫРТҚЫ ПЛАЗМАЛЫҚ ӨНДЕУ АРҚЫЛЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫ БЕРІКТЕНДІРУ**

*Канаев А.Т.<sup>1</sup>, Орынбеков<sup>2</sup> Д.Р.,  
Богомоллов А.В.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,*

<sup>2</sup>*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,*

<sup>3</sup>*С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті*

## **Түйін**

Доңғалақтың барлық элементтерінің дифференциалды беріктенуі доңғалақ шеңберінің тек қана бұрғылау бетін қатайтуға қарағанда айтарлықтай артықшылықтарға ие. Үшжақты жылуды кетірудің арқасында

жиек пен бүйір жиектерінің ішкі қабаттары едәуір күшейтіліп, беріктену тереңдігі артады және тозуға төзімділік пен шаршағыштыққа төзімділік жоғарылайды. Жарықтардың пайда болуына қаттылық пен төзімділікті арттыру үшін кешенде плазмалық өңдеуді алдын-ала көлемді сөндірумен бірге қолдану ұсынылады.

Плазмалық өңдеу кезінде жарықшақтарға төзімділіктің жоғарылауының негізгі себептерінің бірі – бұл қатты қыздыру мен салқындату жылдамдығына байланысты бастапқы аустениттік дән мөлшерінің азаюымен, сондай-ақ жоғары температурада болатын қысқа тұруымен байланысты мартенсит дисперсиясының жоғарылауы.

Зерттеу нәтижелері плазмалық беріктендіруді бөлшектер мен көлемді қаттылық күйінде жұмыс істейтін өнімдерге тиімді пайдалануға болатындығын көрсетеді. Осыған қол жеткізілген жағдайда жұмыс бетінің қаттылығы, өнімдердің жарыққа төзімділігі де артады.

**Кілттік сөздер:** кешенді беріктендіру, жарықшақтыққа беріктік, тұтастай илемденген доңғалақ, дифференциалды шынықтыру, құрылым, дисперстік дәрежесі, қасиеттер, тозуға қарсылық, плазмалық өңдеу.