

2. Витченко, М. Н. Анализ финансово-хозяйственной деятельности предприятия железнодорожного транспорта / М. Н. Витченко. – М.: Маршрут, 2016. – 240 с.

3. Савицкая, Г. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия / Г. В. Савицкая. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск: Новое знание, 2013. – 688

УДК 620.178.4:621.785.5

**И.Н. Степанкин<sup>1</sup>, Д.В. Куис<sup>2</sup>, Е.П. Поздняков<sup>3</sup>,  
А.Б. Найзабеков<sup>4</sup>, С.Н. Лежнев<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>РУП «ПО «Белоруснефть», Гомель, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Гомельский государственный технический университет  
им. П.О.Сухого, Гомель, Республика Беларусь

<sup>4</sup>Рудненский индустриальный институт, Рудный, Республика Казахстан

## **К ВОПРОСУ ИЗНАШИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 16MnCrS5 ПРИ ДЕЙСТВИИ ПУЛЬСИРУЮЩИХ КОНТАКТНЫХ НАГРУЗОК**

*Аннотация.* Предложены подходы к актуализации использования современных легированных сталей, востребованных в евразийском технологическом пространстве. По критерию стойкости к контактной усталости выявлены количественные показатели изнашивания поверхностно упрочненных слоев стали 16MnCrS5.

**I.N. Stsiapankin<sup>1</sup>, D.V. Kuis<sup>2</sup>, E.P. Pazdniakou<sup>1</sup>  
A.B. Naizabekov<sup>3</sup>, S.N. Lezhnev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Beloresneft, Gomel, Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

<sup>3</sup>Pavel Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus

<sup>4</sup>Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

## **ON THE QUESTION OF WEAR OF SURFACE LAYERS OF 16MnCrS5 STEEL IN THE ACTION OF PULSING CONTACT LOADS**

*Abstract.* Approaches to actualizing the use of modern alloy steels that are in demand in the Eurasian technological space are proposed. According to the criterion of

*resistance to contact fatigue, quantitative indicators of wear of the surface-hardened layers of steel 16MnCrS5 were revealed.*

**Введение.** Одной из особенностей современного машиностроения является повышенный интерес к металлургической промышленности отечественных предприятий. Наряду с повышенной рентабельностью, достигаемой в результате отказа от импортных материалов, немаловажное значение приобретает логистическая составляющая, существенно подорожавшая в период коронавирусной пандемии. Исходя из предпочтений ОАО «БМЗ управляющей компании холдинга БМК», направленных на увеличение объемов выпуска сталей, востребованных в Европейском Союзе, определенный интерес вызывает сплав 16MnCrS5. Его появление на внутреннем рынке позиционируется как конкурентоспособная замена другим цементируемым сталям, применяемым для нагруженных деталей машин, работающих в условиях воздействия на их поверхностный слой пульсирующих контактных нагрузок. Исходя из этого, влияние режимов термохимической обработки на эксплуатационные характеристики этого сплава, а также эволюцию его структуры в процессе контактного изнашивания, представляет интерес для инженерно-технических работников машиностроительных и других смежных предприятий.

В работе исследовано влияние пульсирующих контактных напряжений на износоусталостные характеристики стали 16MnCrS5, подвергнутой различным видам термохимической обработки. Особое внимание уделено изучению предельной несущей способности композиционного материала, включающего упрочненный слой и подслой (сердцевину), при действии весьма высоких для данного сплава контактных напряжений.

#### **Объекты и методики исследований.**

Экспериментальную оценку контактного изнашивания проводили на оригинальной установке для испытания материалов на контактную усталость и износ [1]. Установка обеспечивает контактное нагружение торцевой поверхности плоской части образца за счет его прокатывания по рабочей поверхности дискового контртела с линейной скоростью 0,035 м/с. Для моделирования контактного взаимодействия при трении без проскальзывания, контртело в виде диска крепится на шарикоподшипнике в державке штока, а образец с плоской рабочей поверхностью – в ячейке вращающейся планшайбы. Перемещение образца по круговой траектории при встрече с подпружиненным штоком, на котором закреплен диск контртела, вызывает его проворачивание, исключая проскальзывание на

контактных поверхностях. В нижней точке траектории рабочая часть образца окунается в поддон с технологической смазкой «Росойл-ШОК» ТУ 0258-001-06377289-94. Материал контртела – сталь Р6М5 твердостью 64...65 НРС. Ширина дискового контртела и толщина рабочей части образца позволяют точно рассчитать площадь контактной поверхности, а схема нагружения реализует пульсирующее контактное нагружение по «полоске». Подобный подход применяется при исследовании изнашивания материалов, как в условиях качения, так и скольжения в зоне контакта.

Боковые поверхности рабочей части образцов, для изучения структурных изменений в поверхностном слое металла, полируют. Оценку износа образца проводят путем прямого замера глубины лунки износа с помощью индикатора часового типа с точностью 0,01 мм. Полученные значения сравнивают с результатами измерения на инструментальном микроскопе при 50-ти кратном увеличении. Каждая партия, подвергнутая испытаниям, состоит из 8-ми образцов. Статистическую обработку результатов испытаний проводят путем интервальной оценки математического ожидания величины износа с помощью критерия Стьюдента при доверительной вероятности 0,9.

Упрочнение поверхностного слоя сталей осуществляли посредством цементации и нитроцементации. Для сравнения результативности упрочнения термохимическую обработку проводили по двум технологическим режимам: в первом случае науглероживание при температурах 920°C проводили в течении 8-ми и 12-ти часов, во втором высокотемпературную нитроцементацию в среде древесного угля модифицированного мочевиной проводили в течение 6-ти и 8-ми часов при температурах 850°C. Завершающие операции включали закалку с температуры 860°C и отпуск при температуре 200°C.

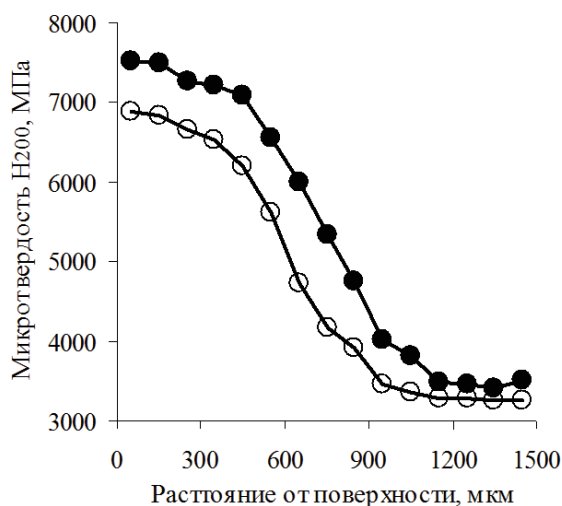
Структурные исследования осуществляли с помощью оптического микроскопа Метам РВ-22.

#### **Результаты исследований и их обсуждение.**

Выбор двух достаточно близких по химизму видов диффузионного насыщения связан с возможностью использования доступной к реализации практически на любом машиностроительном предприятии - высокотемпературной нитроцементации, проведенной авторами в простом реагенте – древесном угле, модифицированном мочевиной. Особенности использования этой обработки диктуют жестко ограничивать длительность стадии насыщения из-за возможного появления так называемой «темной зоны», ухудшающей характеристики упрочненного слоя. По некоторым данным, она появляется вследствие повышенного содержания азота и приводит к

образованию прослоек повышенной хрупкости, содержащих продукты распада мартенсита. При науглероживании стали, легированной Cr, Mn, Ti, V, с одновременной имплантацией азота до концентраций 0,15% и выше, образуются карбонитриды. Их локализация по границам зерен, стимулирует снижение температур распада аустенита, понижая его устойчивость. В итоге по окончании термохимической обработки зернограницные участки кристаллических блоков упрочненного слоя приобретают структуру бейнит [2], или даже троостит [3], что негативно сказывается на контактно-усталостных показателях композиционного материала. Исходя из обозначенной опасности важно контролировать азотный и углеродный потенциал при попытках создать достаточно развитые упрочненные слои, что требует применения дорогостоящего термического оборудования, как правило использующего вакуумные технологии. В нашем случае концепция упрочнения построена на многочисленных результатах исследователей, отражающих высокую эффективность насыщения обоими элементами, достигаемую в присутствии, и в течении достаточно коротких периодов насыщения [4, 5]. Отмеченный подход успешно реализуется научными школами Российской Федерации и является актуальным и рентабельным для условий единичного и мелкосерийного производства.

Толщина слоев, синтезированных на экспериментальных образцах с применением нитроцементации составила порядка – 0,5...0,6 мм, при 1,0-1,2 мм после науглероживания (рис. 1). Распределение твердости в обоих случаях не отличается наличием плато равной твердости в упрочненном слое. Структурные особенности заэвтектоидного участка выражены лишь на цементованных слоях. Его толщина не превышает 0,2...0,3 мм, обеспечивая хорошую технологическую прослойку для использования шлифования при окончательной обработке цементованных деталей. Данная концепция также допустима при использовании нитроцементованных деталей, но со снижением припуска под финишную обработку до 0,1 мм.



а)

б)

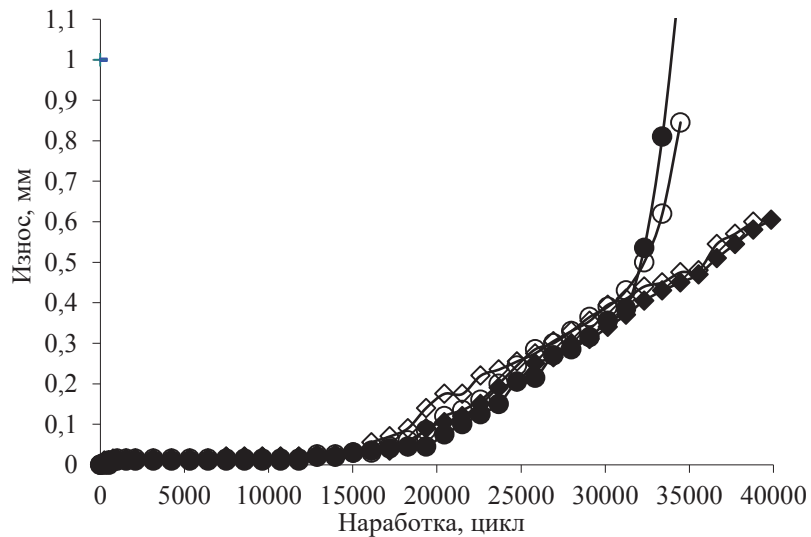
- ◇ – 8-ми часовая цементация; ◆ – 12-ти часовая цементация;
- – 6-ти часовая нитроцементация; ● – 8-ти часовая нитроцементация

**Рис. 1 – Распределения микротвердости науглероженных (а) и нитроцементованных (б) слоев стали 16CrMnS5**

Испытания на контактное изнашивание на первом этапе проводились при величине амплитуды пульсирующего контактного напряжения 950 МПа. Такие высокие напряжения характерны для тяжело нагруженных элементов трансмиссий современных механизмов в различного рода машинах. Особенность испытания плоских образцов, отличается более жесткими условиями их нагружения, при которых в направлении боковых поверхностей не реализуется реакция материала на внешнее воздействие. В такой ситуации можно говорить о целенаправленном ужесточении условий испытаний с переводом экспериментальных образцов в состояние плоского напряженного состояния. Это позволяет рассматривать полученные результаты исследований как количественный параметр стойкости к контактному изнашиванию с гарантированным запасом прочности при рассмотрении реальных деталей машин, в которых объемное нагружение композиционного материала поверхностного слоя, дает преимущество по стойкости за счет реализации всестороннего (трехмерного) напряженного состояния.

Как видно из приведенного графика (рис. 2), испытания всех партий образцов характеризовались проявлением трех этапов контактного изнашивания. На первом этапе, после приработки, стойкость композиционного материала упрочненных слоев отличалась высоким показателем сохранности геометрической формы полоски контакта. Этот результат в количественном выражении обеспечивает рекомендацию по надежности испытываемого сплава с упрочненными

поверхностями в течении 15000 циклов нагружения. Дальнейшие испытания показали, что на всех образцах, за счет эволюции структуры по механизму наклепа, протекали характерные изменения формы структурных составляющих – карбидов, карбонитридов и зерен металлической матрицы.



◇ – 8-ми часовая цементация; ◆ – 12-ти часовая цементация;  
 ○ – 6-ти часовая нитроцементация; ● – 8-ти часовая нитроцементация  
**Рис. 2 – Кривые износа образцов из стали 16CrMnS5 после нагружения контактным пульсирующим напряжением с амплитудой 950МПа**

Процессы умеренного по интенсивности наклепа, заканчивались после 30000 циклов нагружения в слоях, образованных посредством нитроцементации. А науглероженные слои не изменяли своего поведения в процессе испытаний вплоть до изнашивания половины своей эффективной глубины. Испытания при повышенных амплитудах контактного напряжения – 1085МПа, существенно сократили период прецизионной стойкости всех партий образцов до 7-8-ми тысяч циклов.

**Заключение.** Полученные результаты позволили выявить количественный показатель прецизионной стойкости для упрочненных слоев стали 16MnCrS5. При величине амплитуды контактного напряжения до 950 МПа, композиционный материал науглероженных и нитроцементованных слоев отличается периодом высокой стойкости с минимальными проявлениями структурного наклепа по механизму разупрочнению материала. Гарантированный период прецизионной стойкости составляет не менее 15000 циклов. Повышение амплитуды пульсирующего контактного напряжения приводит к сокращению износоусталостного ресурса материала.



## Список использованных источников

1. Устройство для испытания материалов на контактную усталость и износ: полезная модель 7093 U Респ. Беларусь : МПК (2009) G 01N 3/00 / И.Н. Степанкин, В.М. Кенько, И.А. Панкратов ; дата публ.: 28.02.2011.
2. Повышение эксплуатационных характеристик зубчатых колес карьерных самосвалов посредством оптимизации режимов химико-термической обработки / С.П. Руденко [и др.] // Литье и металлургия. – 2013. – № 2 (70). – С. 110-114.
3. Усовершенствованные критерии оценки качества металла цементованных деталей / В.И. Астащенко [и др.] // The Way of Science. – 2014. – № 5. – С. 27-33.
4. Гюлиханов Е.Л., Семенова Л.М., Шапочкин Е.И. Особенности строения нитроцементованных слоев с повышенным содержанием азота // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1990. - №5. - С. 12-15. –
5. Карбонитрирование улучшаемых сталей в пастах / В.И. Колмыков [и др.] // Совершенствование средств механизации в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. КГСХА. – Курск, 2002. – С. 47-51. –

УДК 343.98

**В.А. Талалаев, О.О. Лемешевский.**  
Военная академия Республики Беларусь  
Минск, Беларусь

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЮРИДИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ: ТЕОРИЯ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

*Аннотация.* В публикации дана характеристика современным особенностям использования информационно-коммуникационных технологий в юридическом образовании, определены подходы к разработке и использованию цифровых продуктов обучения, предложены компоненты программного обеспечения, ориентированного на дальнейшее повышение качества образовательного процесса, указаны особенности их использования в образовательном процессе.

**V.A. Talalaev, O.O. Lemeshevski**  
Military Academy of the Republic of Belarus  
Minsk, Belarus