

# ВЕСТНИК

ИжГТУ  
имени М. Т. Калашникова

Том 20  
№ 4

Октябрь – декабрь 2017  
Издается с августа 1998 года  
Выходит один раз в квартал

Рецензируемый научно-теоретический журнал

#### Редакционный совет

Б. А. Якимович, д-р техн. наук, проф. (главный редактор); В. А. Алексеев, д-р техн. наук, проф. (зам. главного редактора); Ю. О. Михайлов, д-р техн. наук, проф. (зам. главного редактора); И. В. Абрамов, д-р техн. наук, проф.; А. В. Вахрушев, д-р физ.-мат. наук; В. И. Гольдфарб, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Дементьев, д-р техн. наук, проф.; Л. Йозса, проф. в области марксизма; Ф. Ким-Шиан, проф.; И. З. Климов, д-р техн. наук, проф.; В. И. Кодолов, д-р хим. наук, проф.; Я. Кудычек, инж., PhD; А. Л. Кузнецов, д-р экон. наук, проф.; В. А. Кутергин, д-р техн. наук, проф.; А. М. Липанов, д-р техн. наук, проф., акад. РАН; В. Е. Лялин, д-р техн. наук, д-р экон. наук, д-р геол.-минерал. наук, проф.; О. Моравчик, д-р техн. наук, проф.; А. И. Нистюк, д-р техн. наук, проф.; Й. Орбан, д-р техн. наук, проф.; М. В. Петрова, д-р полит. наук; К. Райс, канд. техн. наук, проф.; Ф. А. Романюк, д-р техн. наук, проф.; О. И. Шаврин, д-р техн. наук, проф.; М. И. Шишакин, д-р экон. наук, проф.

#### Редакционная коллегия

##### Машиностроение и машиноведение

С. Н. Храмов, д-р техн. наук, проф.  
В. Н. Диценко, д-р техн. наук, проф.  
В. И. Добровольский, д-р техн. наук, проф.  
С. А. Писарев, д-р техн. наук, проф.

##### Экономические науки

Р. А. Галиахметов, д-р экон. наук, проф.  
Е. А. Попыцук, д-р экон. наук, проф.  
Н. Л. Тарануха, д-р экон. наук, проф.

##### Радиотехника и связь

В. В. Хорренков, д-р техн. наук, проф.  
О. В. Муратзяева, д-р техн. наук, проф.  
В. А. Кулаков, д-р техн. наук, проф.

##### Информатика, вычислительная техника и управление

И. Г. Русак, д-р техн. наук, проф.  
М. М. Горюхов, д-р физ.-мат. наук, проф.  
В. В. Мурзинов, д-р техн. наук, проф.

##### Педагогические науки

Ю. А. Шахов, д-р пед. наук, проф.  
Ю. Н. Сёмин, д-р пед. наук, проф.  
Е. В. Осмина, д-р психол. наук, проф.

ISSN (online) 2413-1172

Сайт журнала с возможностью подачи рукописи  
<http://izdat.istu.ru>

© ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2017

© Оформление. Издательство ИжГТУ  
имени М. Т. Калашникова, 2017

Рецензируемый научно-теоретический журнал «Вестник Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова» включен ВАК России в перечень ведущих научных журналов, в которых публикуются основные научные результаты докторских и кандидатских диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

Журнал зарегистрирован Управлением Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций по Удмуртской Республике. Свидетельство ПИ № ТУ18-00664 от 31 мая 2017 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

### **Машиностроение и машиноведение**

Литин А. А., Вахидов У. Ш., Вышняков А. В., Стриюк А. Д. Исследование собственных частот колебаний роторно-винтовых двигателей	3
Шанрин О. И., Бендерский Б. Я., Копылов К. А., Скворцов А. Н. К вопросу моделирования процессов охлаждения проволоки при термодеформационном формировании наноразмерной структуры	7
Переладов А. Б., Дмитриева О. В., Камкин И. П. Методика определения показателей микрорезания при шлифовании	13
Остапчук А. К., Кутинцова Е. М., Дмитриева О. В. Исследование процессов резания с использованием системы управления Лоренца	18
Митюков Ю. О., Кокорин Н. А., Тарасов В. В., Князев С. Н., Трифонов И. С. Криогенное упрочнение для повышения эффективности технологий обработки инструмента из стали Х12МФ	23
Карахудов М. Н., Исупов М. Г., Мельников А. С., Жаркова А. А. Методы экспериментального определения передаточного отношения плунжерных передач с газомеханическим волноводом	26
Алексеев В. А., Успальцев А. В., Успальцев В. П. Исследование качества поверхности обрабатываемых материалов при лазерной обработке	31

### **Экономические науки**

Берузина Г. А. Использование маркетинговых динамических потенциалов в процессе диверсификации предприятий оборонно-промышленного комплекса	38
Савченко О. Л. Исследование стимулирующих мер поддержки создания и развития индустриальных парков на федеральном и региональном уровнях	43
Ибрахимова Л. А., Митрохина А. И. Анализ ошибок, совершаемых современными предприятиями интернет-торговли	47
Чукунова И. В., Тарантина Н. Л. Моделирование бизнес-процессов при реструктуризации строительного предприятия	51
Волжкова Т. Г. Об усилении роли концепций реформирования зарубежных пенсионных систем в проведении пенсионной реформы РФ	55
Евзекина Ю. В. Проблема соответствия стоимости капитального ремонта многоквартирных жилых домов фактическим затратам	61
Волжкова Т. Г., Кохнова Я. Е. Анализ рынка ипотечного кредитования Удмуртской Республики	65
Багровникова А. Н. Особенности исследования экономической сущности устойчивого развития промышленных предприятий	69

### **Радиотехника и связь**

Хорренков В. В., Батурын И. С., Савельев А. В. Автоматизированное рабочее место главного конструктора радиоэлектронных средств на основе теории многоагентных систем	77
Кулаков В. А., Скетерев В. Н., Скетерева В. В., Охильков И. Л. Экспериментальный метод определения граничных условий теплообмена в деталях двигателей внутреннего сгорания	82

### **Информатика, вычислительная техника и управление**

Бландинский Г. А., Горюков М. М., Докучаев Д. Е. Разработка UML-модели классов для предприятий пищевой промышленности по технологии OMG RUP	86
Севастянов Б. В., Костын Д. М. Трансформация критериев оценки эффективности систем управления охраной труда: традиционный и современный подходы	91
Васильев К. А. Современное состояние развития информационных систем планирования ресурсов и управления предприятием	95
Гольцов О. Б., Гольцова Е. В., Созонова Н. А. Разработка поэтапного математического и алгоритмического обеспечения модели управления по подготовке квалифицированных кадров	100
Шуракин А. П., Волкович С. В. Фильтрация входных данных нейронной сети с применением технологии цифровой обработки сигналов	104
Краснов А. Н., Ладын В. Е. Стохастическая теория структуризации цилиндрической оболочки газопровода	110
Ложкин А. Г., Майоров К. Н. О некоторых проблемах разработки автомобильных роботов	114
Альев Э. В., Пытнева О. М. Перспектива практического применения быстрореагирующего производства	117

### **Педагогические науки**

Дымнова И. А., Карюян А. А. Медико-социальная характеристика семей, проживающих в условиях малого города	122
Карюян А. А., Кальвино Л. А., Дымнова И. А. Духовно-нравственное развитие личности в системе экологического воспитания школьников на примере гуманитарного направления	127
Аннотации и ключевые слова	131
Сведения об авторах	155
Требования к оформлению статей	157
Содержание номеров журнала «Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова» за 2017 год	161
Рекомендации по письменности References	166

УДК 621.774.8

DOI 10.22213/2413-1172-2017-4-23-25

Ю. О. Михайлов, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
 Н. А. Кокорин, кандидат технических наук, доцент, ООО «НПЦ «КриоТехРесурс», Ижевск  
 В. В. Тарасов, доктор технических наук, профессор, Институт механики УрО РАН, Ижевск  
 С. Н. Князев, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
 И. С. Трифонов, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## КРИОГЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТА ИЗ СТАЛИ Х12МФ<sup>\*</sup>

**Л**егированная сталь Х12МФ широко используется при производстве различного инструмента, работающего в жестких эксплуатационных условиях: резьбонакатные ролики и плашки, инструмент для холодной штамповки и высадки и др. Сталь обладает высокой вязкостью и твердостью, теплостойкостью, устойчивостью к ударным и фрикционным нагрузкам.

Для повышения срока службы изделий из стали Х12МФ применяются традиционные технологии объемной термической обработки (ТО) [1], а также инновационные методы упрочнения с использованием криогенной обработки (КО) [2] и технологии нанесения наноструктурированных PVD-покрытий (Physical Vapour Deposition) [3].

В работе рассмотрено влияние КО на абразивную износостойкость опытных образцов и серийных изделий из стали Х12МФ после ТО, а также после нанесения PVD-покрытия.

При использовании объемной ТО максимальная твердость стали Х12МФ достигается при остаточном насыщении твердого раствора углеродом и легирующими элементами при содержании остаточного аустенита не больше 15 %. Эти условия реализуются в интервале температур до 970 °C с отпуском при 180–200 °C. Дальнейшее повышение температуры приводит к снижению твердости из-за появления в структуре большого количества остаточного аустенита.

Эффективной технологией преобразования остаточного аустенита в мартенсит и стабилизации поверхностной твердости является КО стали. Она предусматривает охлаждение металла, промежуточную закалку и отпуск, до температуры жидкого азота, выдержку при этой температуре и последующий низкий отпуск (табл. 1).

Таблица 1. Режимы термической обработки стали Х12МФ с дополнительным криогенным воздействием

Операция	<i>t</i> , °C	Условия воздействия, среда
Отжиг	850...870	Охлаждение с печью
Закалка	970	Охлаждение, масло
Отпуск 1	300	Охлаждение, воздух
КО	-196	Нагрев с камерой
Отпуск 2	180	Охлаждение, воздух

При температуре, близкой к -196 °C, доля остаточного аустенита в стали стремится к нулю, так как в этих условиях происходит практически полное мартенситное превращение доли аустенита, сохранившейся в структуре металла после закалки. При этом КО позволяет повысить не только среднее значение твердости рабочей поверхности инструмента, но и стабилизировать ее характеристики на максимально высоком уровне независимо от колебаний химического состава стали, что приводит к росту износостойкости инструмента и увеличивает время его работы между переточками.

В качестве предварительной ТО применялся полный отжиг для выравнивания свойств по сечению образцов с последующей закалкой и отпуском. Режимы ТО приведены в табл. 1.

КО деталей и опытных образцов проводилась с использованием криогенного процессора модели ККО-0,2 и сосуда для криогенных жидкостей DPW 785. Управление температурно-временными параметрами процесса обработки осуществлялось с помощью программно-аппаратных средств.

Одним из наиболее перспективных методов улучшения физико-механических свойств поверхности материала и повышения ее износостойкости являются PVD-технологии. Нанесение

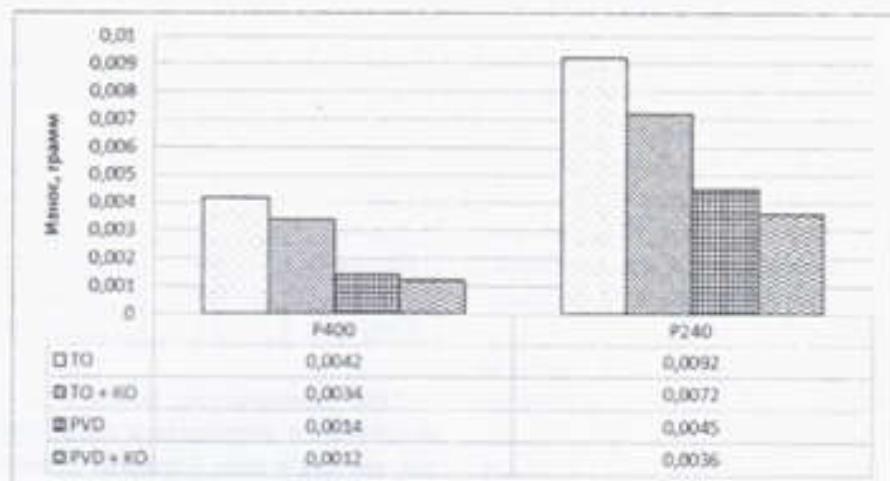
© Михайлов Ю. О., Кокорин Н. А., Тарасов В. В., Князев С. Н., Трифонов И. С., 2017

Публикация выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках работ по проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства унифицированной машины тяжелого электротранспорта», выполненному соместно ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» и ОАО «Сарапульский электрогенераторный завод» (договор № 02.G25.31.0132 от 01.12.2015 г.).

PVD-покрытий Balinit-Allnova (на основе AlCrN) на образцы проводилось на установке INNOVA компании Oerlikon Balzers (Лихтенштейн) в течение 3-5 ч. Толщина полученного покрытия – до 5 мкм. Микротвердость HV = 3200 при коэффициенте трения  $\mu = 0,05$  (HRC 48..50).

Сравнительная оценка эффективности сочетания указанных технологий проводилась на цилиндрических образцах Ø6 мм, которые подвергались изнашиванию по закрепленному аб-

разиву по схеме «палец – плоскость» с дополнительным вращением образца [4]. Параметры испытаний: сила нагружения образца  $N = 4$  Н; скорость перемещения  $F = 500$  мм/мин; частота вращения  $n = 750$  мин<sup>-1</sup>; путь трения  $L = 415$  мм. Варьируемый параметр – зернистость абразива (электрокоруида) P400 и P240. Износ оценивался гравиметрическим методом на весах ВЛА-200г-М с точностью до 0,0001 г. Результаты испытаний представлены на рисунке.



Изменение износостойкости стали X12MФ после различной упрочняющей обработки (весовой износ)

Испытания на абразивный износ показали, что увеличение зернистости абразива с P400 (28..40 мкм) до P240 (50..63 мкм) интенсифицирует процесс изнашивания независимо от технологии обработки (см. рисунок). Отмечено повышение износа термически обработанных образцов с последующей КО в 2 и более раз при переходе на абразивную шкурку с увеличенной зернистостью. Для образцов с PVD-покрытием и последующей КО этот показатель в тех же условиях растет в 3 и более раз, что свидетельствует о меньшей чувствительности (в относительном представлении) структур металла, подвергнутого ТО к изменению размера зерна абразива. Однако в абсолютных значениях стойкость к абразивному изнашиванию образцов с PVD-покрытием оказывается почти в 2-3 раза выше.

Необходимо заметить, что с экономической точки зрения технология, основанная на применении PVD-покрытий и дополнительной КО, характеризуется высоким уровнем капитальных вложений, поэтому требует строгого экономического обоснования.

Оценка абразивной износостойкости образцов из стали X12MФ (при вариации зернистости абразива в диапазоне 28..63 мкм), обработанных по различным технологическим схемам, показала следующее (табл. 2).

Таблица 2. Износостойкость стали X12MФ, обработанной по различным технологическим маршрутам

Относительная износостойкость*	Абразивная шкурка	
	P400 (28..40 мкм)	P240 (50..63 мкм)
TO / TO	1,19	1,22
TO / PVD	1,66	1,51
TO / PVD	1,59	1,38
PVD / PVD-KO	1,14	1,20
TO / PVD-KO	1,71	1,61

где  $f'$  – величина износа образцов, обработанных по соответствующей индексу технологии (КО – криогенная обработка; ТО – термическая обработка; PVD-технология с использованием PVD-покрытий; знак (+) означает последовательное применение соответствующих технологий)

На основе анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- КО обеспечивает повышение износостойкости на 19-22 % по сравнению с ТО;
- технология нанесения nanostructured PVD-покрытий позволяет повысить износостойкость на 51-66 % по сравнению с технологией ТО и на 38-59 % по сравнению с КО;
- комбинированная технология нанесения PVD-покрытия и дополнительной КО позволяет получить прирост износостойкости на уровне

61-71 % по сравнению с ТО и на 14-20 % по сравнению с PVD-покрытием без КО.

Эксплуатационные испытания комплекта валков (правильная клеть) ТЭСА 10-25 для трубы 20×20 мм из стали X12МФ, упрочненных КО на Альметьевском трубном заводе, показали повышение износостойкости на 20-25 % [5], что полностью подтвердило эффективность предложенного варианта упрочнения.

КО-обработка внутренних колец пресса фирмы AteliersRoche на Синарском трубном заводе (г. Каменск-Уральский) из закаленной стали X12МФ применялась для полного распада остаточного аустенита (см. табл. 1). Твердость упрочненных колец соответствовала уровню твердости серийного инструмента 55..60 HRC. Эксплуатационные испытания колец проводились на операции формообразования внутреннего диаметра концов труб 88,9×7,34 мм по серийной технологии с подачей смазки в автоматическом режиме. Установлено, что стойкость упрочненного КО кольца на 0,1 мм износа составила 1024 против 812 операций (высадка конца трубы) при использовании базового (неупрочненного) инструмента. При этом помимо повышения износостойкости на 21 % отмечено отсутствие налипания металла трубы на кольцо, такое как при эксплуатации серийных колец без КО зачистку налипшего металла производят в среднем через 254 операции формоизменения. Отсутствие налипания исключает необходимость остановки пресса для замены и зачистки кольца, что повышает производительность процесса формоизменения на прессе.

Таким образом, лабораторные исследования и эксплуатационная апробация предложенной упрочняющей технологии показали, что использование КО является эффективным средством повышения ресурса (износостойкости) инструмента из стали X12МФ и данный вид обработки можно рекомендовать к более широкому промышленному использованию.

Установлен прирост абразивной износостойкости, термически обработанной стали X12МФ на 19-22 % и термически обработанной стали X12МФ с PVD-покрытием на основе AlCrN на 61-71 % в результате КО.

Статья профинансирована из средств субсидии из федерального бюджета с целью реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка и создание высокотехнологичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта», реализуемого в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», в рамках подпрограммы «Институциональное развитие научно-исследовательского сектора» государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий на 2013-2020 годы», АО «Сарапульский электрогенераторный завод» и ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» (договор от 1 декабря 2015 г. № 02.G325.31.0132).

Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», в рамках подпрограммы «Институциональное развитие научно-исследовательского сектора» государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий на 2013-2020 годы», АО «Сарапульский электрогенераторный завод» и ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» (договор от 1 декабря 2015 г. № 02.G325.31.0132).

#### Библиографические ссылки

1. Носова Е. А., Кузина А. А., Ибатуллин И. Д. Влияние отпуска на поверхностные структурные изменения в штампованных стальных У8, X12МФ, 30ХГСА // Известия Самарского НЦ РАН. 2015. Т. 17, № 6(2). С. 375-383.
2. Кокорин Н. А., Тарасов В. В., Трифонов И. С. Криогенное упрочнение промышленных ножей из стали 9ХС для повышения их износостойкости // Химическая физика и мезоскопия. 2016. Т. 18, № 2. С. 257-264.
3. Гугля А. Г., Неклюдов И. М. Покрытия на базе никеля хрома. Опыт создания и исследования // Успехи физики металлов. 2005. Т. 6. С. 197-232.
4. Пат. РФ № 2601502 МПК G01N3/56 Способ испытания материала на абразивное изнашивание / В. В. Тарасов, И. С. Трифонов, Ю. В. Пузанов, А. Г. Бажин. Опубл. 10.11.2016.
5. Кокорин Н. А. Повышение ресурса прокатных валков криогенной обработкой // Труды X конгресса прокатчиков : сб. статей. М. : ООО «ВАИИ ФОРМАТ», 2015. Т. 2. С. 217-220.

#### References

1. Nosova E. A., Kuzina A. A., Ibatullin I. D. (2015). *Izvestiya Samarskogo NTs RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], vol. 17, no. 6(2), pp. 375-383 (in Russ.).
2. Kokorin N. A., Tarasov V. V., Trifonov I. S. (2016). *Khimicheskaya fizika i mesoskopiya* [Chemical physics and mesoscopy], vol. 18, no. 2, pp. 257-264 (in Russ.).
3. Guglya A. G., Neklyudov I. M. (2005). *Uspokhi fiziki metallov* [Advances in Physics of Metals], vol. 6, pp. 197-232 (in Russ.).
4. Tarasov V. V., Trifonov I. S., Puzanov Yu. V., Bazhin A. G. Patent RU 2601502IPC01N3/56. 11.10.2016.
5. Kokorin N. A. (2015). *Povyshenie resursa prokatnykh valkov kriogennoi obrabotkoj* [Increasing the life of rolling rolls by cryogenic treatment]. Proceedings of the X kongressa prokatчиков, vol. 2, pp. 217-220. Moscow, Vash formal (in Russ.).