

**Mikhail N. Erokhin** – Member of the Russian Academy of Sciences, PhD (Eng) – Higher Doctorate, Professor, Rector Advisor, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., 55; phone: +7 (499) 976-26-02.

**Sergey P. Kazantsev** – PhD (Eng) – Higher Doctorate Professor, Department of Strength Of Materials and Machinery Parts; Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127550, Timiryazevskaya ul., 55; phone:+7 (499) 976-46-18; e-mail: kspts@bk.ru.

**Nikolay N. Chupyatov** – PhD (Eng), post-doctorate researcher, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 172383, Tver obl., Rzhev, Kranostroitelei ul., 19, apt.38; phone: 8-915-721-40-71; e-mail: nikolaj-ch@mail.ru.

Received on October 6, 2015

УДК 621.785: 621.99: 621.282.1:621.793.7-034.35

### **В.Н. КОПЕНЕВ**

Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка

### **А.В. КОЛОМЕЙЧЕНКО**

Орловский государственный аграрный университет

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ, ОСНАСТКИ И МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И УПРОЧНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ**

*Успешное решение задач, связанных со снижением стоимости и веса изделий, при одновременном повышении долговечности ведет к необходимости использования композиционных материалов. К числу наиболее прогрессивных технологических процессов получения таких материалов относятся методы нанесения защитных и упрочняющих покрытий. Особое место среди них занимают процессы газотермического напыления. Совершенствование технологических методов, материалов и оснастки при нанесении покрытий методами газопламенного напыления покрытий позволяет управлять ресурсом деталей машин, воздействуя на состав, структуру, свойства. В связи с этим были проанализированы технологические методы, оборудование и материалы при восстановлении и упрочнении деталей машин газопламенным напылением. Приводится расширенное и углубленное рассмотрение проблем повышения эффективности метода газопламенного напыления и пути их решения, а также представлены полученные результаты и дальнейшие направления развития технологических методов, оборудования и применяемых материалов. Анализ существующих материалов и технологий изготовления и восстановления подшипников скольжения позволяет остановить свой выбор на технологии изготовления биметаллического подшипника скольжения взамен подшипника из цельной бронзы. Применение стальной основы и пластического деформирования для её обработки, а также обоснованный подбор антифрикционного материала из порошков бронзы позволяют повысить эксплуатационные показатели разрабатываемого подшипника скольжения. Также установлено, что для формирования равномерного и качественного покрытия на фасонных поверхностях необходимо обеспечить равномерное перемещение горелки, расположенной перпендикулярно поверхности, на заданном расстоянии от детали, поскольку оптимальный режим напыления зависит от многих факторов, в том числе и от таких режимов, как угол и дистанция напыления.*

*Ключевые слова: газопламенное напыление, технология и оснастка, прочность сцепления, подготовка поверхности, порошковый материал, водородно-кислородное пламя, биметаллический подшипник скольжения, накатывание.*

Успешное решение задач, связанных со снижением стоимости и веса изделий, при одновременном повышении долговечности ведет к необходимости использования композиционных материалов. К числу наиболее прогрессивных технологических процессов получения таких материалов относятся методы нанесения защитных и упрочняющих покрытий. Особое место среди них занимают процессы газотермического напыления.

Для упрочнения и восстановления деталей машин, работающих в условиях абразивного износа, широкое применение находит метод газопламенного напыления (ГПН) порошковых материалов. Существенным недостатком газопламенного напыления является выделение при напылении продуктов сгорания органического топлива, применение различных горючих газов для замены ацетилена в процессах газопламенной обработки с каждым годом получает все большее распространение. В качестве заменителей ацетилена широко используются различные горючие газы, в том числе и водород.

### Цель исследования

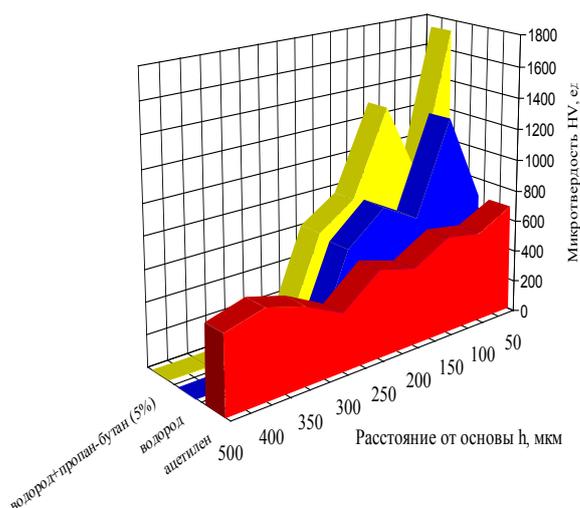
Цель исследования – совершенствование технологических методов, материалов и оснастки при нанесении покрытий методами газопламенного напыления покрытий с целью воздействия на состав, структуру, свойства восстановленных и упрочненных поверхностей.

### Материалы и методы исследований

Известные методы газопламенной обработки рассчитаны на применение углеродсодержащих горючих газов, что загрязняет окружающую среду продуктами сгорания, которые, в частности, ухудшают свойства покрытий. Кроме того, известные горелки не позволяют применять в качестве горючего газа водородно-кислородную смесь, так как она создает окислительное пламя. Применение в них в качестве транспортирующего газа водородно-кислородной смеси может привести к обратному удару в канале для газопорошковой смеси.

### Обсуждение экспериментальных данных

Нами продолжительное время проводится научная работа по исследованию износостойких покрытий полученных ГПН-материалов с применением водородно-кислородного пламени. Результаты исследований (рис. 1) подтверждают, что использование водородно-кислородной смеси с добавкой пропан-бутана для газопламенного напыления дает возможность при напылении получать высококачественный напыленный слой, а применение добавки пропан-бутана к водородно-кислородной смеси для газопламенного напыления позволяет повысить микротвердость наносимых покрытий на 24% в сравнении с покрытиями, получаемыми на

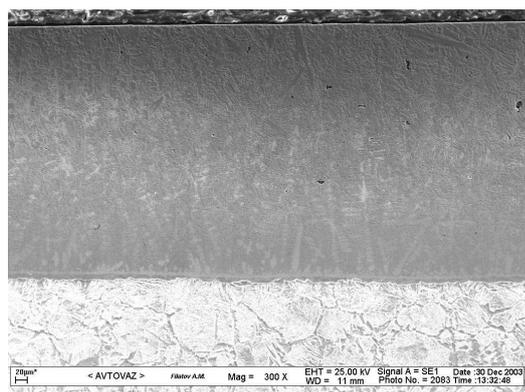


**Рис. 1. Распределение микротвердости в поверхностном слое газопламенных покрытий, полученных напылением порошка ПР-НХ17С4Р4 с использованием пламени различных горючих газов**

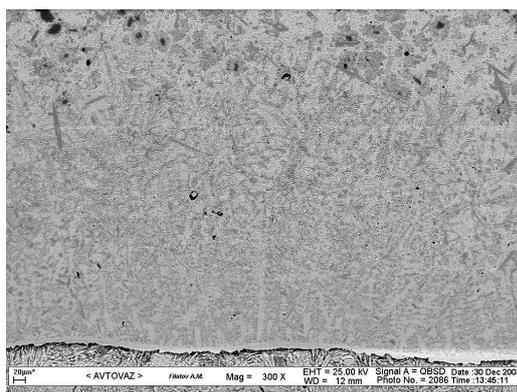
чистой водородно-кислородной смеси, и на 49% в сравнении с покрытиями, получаемыми на традиционной ацетилено-кислородной смеси. Структура покрытий, полученных при различных горючих газах, практически одинакова (рис. 2). Отличие – в количестве пор в поверхностных слоях [1].

Выполненные рядом исследователей работы по изучению работоспособности деталей с покрытиями убедительно показали, что основной причиной их разрушения является недостаточная связь между материалом покрытия и основы. По указанной причине серьезным ограничением на пути более широкого применения изделий, упрочненных покрытиями, следует считать прочность сцепления.

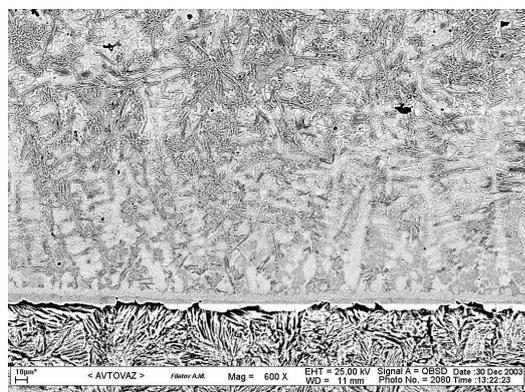
Проведенными исследованиями было установлено, что одним из наиболее эффективных способов подготовки поверхностей деталей машин под газопламенное напыление, обеспечивающим значительное повышение прочности сцепления покрытия с подложкой, является накатывание на восстанавливаемой или упрочняемой поверхности заготовки резьбы с замковым профилем. Резьба с замковым профилем представляет собой треугольную резьбу, на вершине которой формируются полугрибовидные участки профиля, смещенные попеременно в разные стороны. Этот профиль выполняет роль полуанкерного замка, на который механически прикрепляется напыляемое покрытие. Восстанавливаемая или упрочняемая поверхность детали предварительно протачивается на токарном станке, затем на ней нарезается «рваная» резьба. Накатывание замкового профиля производится на предварительно нарезанной резьбе. В качестве инструмента используются запатентованные профильные резьбонакатные ролик.



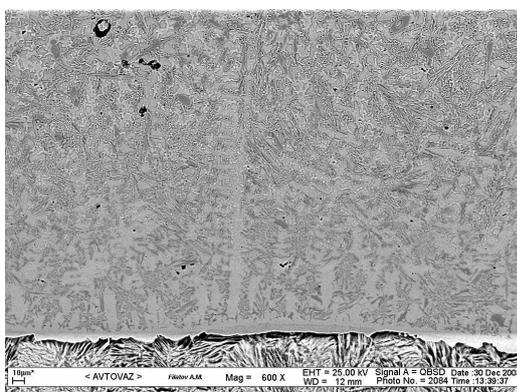
×300



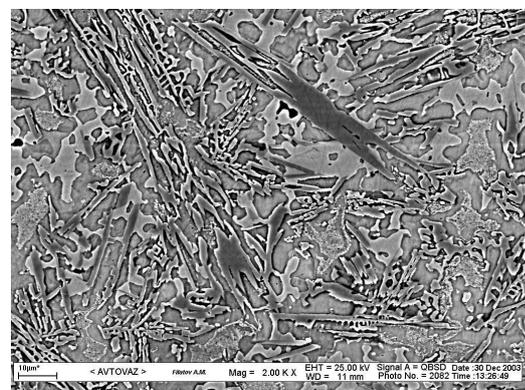
×3000



×600

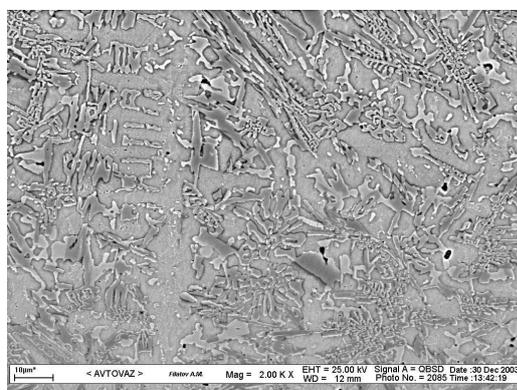


×600



×2000

а)



×2000

б)

**Рис. 2. Микроструктура покрытий полученных напылением порошка ПР-НХ17С4Р4 с использованием пламени различных горючих газов: а) ацетилено-кислородного; б) водородно-кислородного**

В результате была решена актуальная задача повышения прочности сцепления покрытий с основой при газопламенном напылении порошковых материалов совершенствованием технологии подготовки поверхности путем накатывания замкового профиля на предва-

рительно нарезанной резьбе. Разработаны способ, оснастка и инструмент (патенты РФ № 2237525, № 2305606) для осуществления предложенной технологии, а также было достигнуто повышение прочности сцепления газопламенных покрытий с основой на 25%

в сравнении с существующим способом подготовки поверхности нарезанием «рваной» резьбы. Определены рациональные режимы и параметры формирования замкового профиля на подготавливаемой поверхности [2].

Анализ, обоснование и выработка рекомендаций по использованию механических свойств материалов, в том числе и композиционных, при нанесении покрытий методами газопламенного напыления покрытий – один из наиболее важных этапов исследования, который позволит не только объективно судить о поведении деталей при эксплуатации, но и активно управлять ресурсом их работы, воздействуя на состав, структуру, свойства и, естественно, на технологию получения покрытий.

В настоящее время современное производство оснащено сложной техникой, безотказность работы которой зависит от ресурса наиболее нагруженных деталей. Во многих самоходных машинах нашли широкое применение различные подшипники скольжения, так как они обладают высокими антифрикционными свойствами и выдерживают значительные удельные нагрузки. Чаще всего это бронзовые подшипники скольжения типа «втулка», изготовленные из бронзы. Подвеска самоходных машин имеет различное конструктивное решение балансирного устройства, в состав которого также входят втулки (подшипники скольжения), изготовленные из антифрикционного материала. Эти подшипники лимитируют ресурс балансирной подвески и требуют восстановления либо замены новыми – ремонтного размера.

При проведении капитального ремонта требуется ремонт подвески, а анализ износного состояния подшипников скольжения показывает, что внутренняя цилиндрическая поверхность бронзовых втулок выходит за пределы размеров, допустимых при ремонте. Эти подшипники лимитируют ресурс работы ответственных сборочных единиц. Обеспечение высокой долговечности подшипников скольжения является сложной задачей как при их изготовлении, так и при ремонте.

Одним из наиболее рациональных путей повышения долговечности подшипников скольжения является применение биметаллических втулок с нанесенным на внутреннюю поверхность покрытием из порошков на основе бронзы. Серьезной проблемой при изготовлении подобных втулок является обеспечение необходимой прочности сцепления антифрикционного покрытия с металлической основой. Известно, что прочность сцепления может быть повышена формированием на поверхности основы специального рельефа. Одним из наиболее рациональных видов наносимых рельефов является сетчатый профиль, получаемый накатыванием (патенты № 2400312, № 2416744,

№ 2424888, № 2427459, № 2532614 и № 2539515). Однако отсутствие обоснованных рекомендаций по режимам и применяемым материалам при изготовлении подшипников скольжения косым сетчатым накатыванием и газопламенным напылением порошков на основе бронзы сдерживает внедрение таких технологий в производство и поэтому является актуальной задачей.

Анализ существующих материалов и технологий изготовления и восстановления подшипников скольжения позволяет остановить свой выбор на технологии изготовления биметаллического подшипника скольжения взамен подшипника из цельной бронзы. Применение стальной основы и пластического деформирования для её обработки, а также обоснованный подбор антифрикционного материала из порошков бронзы позволят повысить эксплуатационные показатели разрабатываемого подшипника скольжения [3].

Полученный методом ГПН антифрикционный слой в силу физических процессов, происходящих при газотермическом напылении, обладает высокой пористостью, низкой прочностью, микротвердостью и износостойкостью [4], поэтому необходима последующая механическая обработка резанием (точение, шлифование). Однако это приводит к увеличению потерь дорогостоящего порошкового материала из цветных металлов из-за необходимости снятия припуска. Кроме того, получаемая шероховатость и точность размера после механической обработки остаются на низком уровне. Недостатками известных методов обработки антифрикционных покрытий также являются недостаточная прочность, микротвердость и износостойкость напыленного антифрикционного слоя, при одновременно высоких пористости и коэффициенте трения напыленного антифрикционного слоя [5]. В связи с этим задачами разработки является повышение точности размера, прочности, микротвердости и износостойкости напыленного антифрикционного слоя при одновременном снижении потерь порошкового материала, шероховатости, пористости и коэффициента трения напыленного антифрикционного слоя.

Поставленные задачи решаются тем, что последующую механическую обработку производят пластическим деформированием накатыванием антифрикционного покрытия твердосплавным инструментом. Для этого, механическую обработку антифрикционного слоя до номинального или ремонтного размера осуществляют отделочно-упрочняющей обработкой поверхностным пластическим деформированием. В этих целях проводят операцию накатывания поверхности антифрикционного покрытия твердосплавным инструментом в виде роликов. В результате накатывания за

счет создания наклепа [6] происходит упрочнение поверхностного слоя антифрикционного покрытия, что приводит к изменению микроструктуры, повышению прочности, микротвердости антифрикционного слоя при одновременном снижении шероховатости и пористости. Снижение шероховатости приводит к повышению точности размера и износостойкости, а также к снижению коэффициента трения напыленного антифрикционного слоя. Кроме того, минимальный припуск на такую обработку резко снижает потери порошкового материала за счет отсутствия стружки.

Полученный таким образом подшипник скольжения из стальной втулки с напыленным слоем бронзы с последующей отделочно-упрочняющей обработкой поверхностным пластическим деформированием поверхности антифрикционного покрытия твердосплавным инструментом в виде роликов обладает более высокими показателями качества поверхностного слоя и более долговечен при одновременном низкой стоимости получения.

Для достижения указанных результатов производится разработка оснастки и инструмента для накатывания, а также оптимизация параметров инструмента и режимов обработки.

Еще одной из серьезных проблем, возникающих на производстве, является то, что для формирования равномерного и качественного покрытия на фасонных поверхностях необходимо обеспечить равномерное перемещение горелки, расположенной перпендикулярно поверхности, на заданном расстоянии от детали, поскольку оптимальный режим напыления зависит от многих факторов, в том числе и от таких режимов, как угол и дистанция напыления.

При малой дистанции напыления создается опасность деформации металла основы под влиянием термических напряжений; когда же расстояние слишком большое, температура и скорость напыляемых частиц снижается, что приводит к образованию «рыхлого» покрытия и уменьшению прочности сцепления с основой [7]. Определенное влияние на формирование покрытия при газопламенном напылении оказывает угол атаки, т.е. угол между направлением напыления и поверхностью основы. По мере уменьшения угла напыления возрастает пористость покрытия, снижается коэффициент использования напыляемого материала, снижается его плотность и прочность сцепления покрытия с основой, т.е. наилучшие характеристики покрытия получаются при перпендикулярном направлении пламени горелки относительно напыляемой поверхности.

Так как деформация напыляемых частиц при соударении с поверхностью основы происходит, в случаях, когда невозможно обеспечить

этот угол, допускается отклонение от вертикали, но не более чем на  $45^\circ$ . В противном случае существенно снижается качество покрытия и возрастают потери порошка [8]. Наиболее интенсивное напыление происходит по центру потока, где сосредотачиваются самые крупные фракции наименее окисленных распыленных частиц. Основная масса напыляемого материала поступает по центру потока, где достигаются наилучшее сцепление с основой [9, 10], минимальная пористость и окисление частиц. В наружной части факела материал напыляется с минимальной скоростью, при этом образуется окисленный слой частиц с высокой пористостью и плохим сцеплением с подложкой. Следовательно, при восстановлении сферических поверхностей необходимо обеспечить перпендикулярность пламени относительно напыляемой поверхности и равномерное перемещение горелки в горизонтальной плоскости с соблюдением фиксированной дистанции напыления.

Выполнения этой задачи можно добиться путем копирования сферы горелкой, расположенной на неизменном расстоянии напыления и зафиксированной от перемещения в вертикальном направлении. Для этого нами разработано устройство для газотермического напыления покрытий на тела вращения (патент РФ № 2328352).

Часть результатов получена при помощи оборудования исследовательского центра АО АВТОВАЗ. Также в исследованиях задействовано оборудование Инновационного научно-исследовательского испытательного центра ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, а также возможности Центра по нанотехнологиям и наноматериалам в АПК (№ 8) «Нано-Центр ГОСНИТИ». Работы ведутся в рамках сотрудничества в созданном при ФГБОУ ВО Орловский ГАУ секторе № 17 «Новые технологии» ФГБНУ ГОСНИТИ.

## Выводы

1. Использование водородно-кислородной смеси с добавкой пропан-бутана для газопламенного напыления дает возможность при напылении получать высококачественный напыленный слой, а применение добавки пропан-бутана к водородно-кислородной смеси для газопламенного напыления позволяет повысить микротвердость наносимых покрытий на 24% в сравнении с покрытиями, получаемыми на чистой водородно-кислородной смеси, и на 49% в сравнении с покрытиями, получаемыми на традиционной ацетилено-кислородной смеси. Структура покрытий, полученных при различных горючих газах, практически одинакова. Отличие – в количестве пор в поверхностных слоях.

2. Прочность сцепления может быть повышена формированием на поверхности основы специального рельефа. Разработаны способ, оснастка и инструмент для осуществления предложенной технологии, а также было достигнуто повышение прочности сцепления газопламенных покрытий с основой на 25% по сравнению с существующим способом подготовки поверхности нарезанием «рваной» резьбы.

3. Одним из наиболее рациональных путей повышения долговечности подшипников скольжения является применение биметаллических втулок с нанесением на внутреннюю поверхность покрытием из порошков на основе бронзы. Серьезной проблемой при изготовлении подобных втулок является обеспечение необходимой прочности сцепления антифрикционного покрытия с металлической основой. Прочность сцепления может быть повышена формированием на поверхности основы специального рельефа. Одним из наиболее рациональных видов наносимых рельефов является сетчатый профиль, получаемый накатыванием.

4. Подшипник скольжения из стальной втулки с напыленным слоем бронзы с последующей отделочно-упрочняющей обработкой поверхностным пластическим деформированием поверхности антифрикционного покрытия твердосплавным инструментом в виде роликов обладает более высокими показателями качества поверхностного слоя и более долговечен при одновременно низкой стоимости получения.

5. При восстановлении сферических поверхностей необходимо обеспечить перпендикулярность пламени относительно напыляемой поверхности и равномерное перемещение горелки в горизонтальной плоскости с соблюдением фиксированной дистанции напыления. Выполнения этой задачи можно добиться путем копирования сферы горелкой, расположенной на неизменном расстоянии напыления и зафиксированной от перемещения в верти-

кальном направлении. Для этого разработано устройство для газотермического напыления покрытий на тела вращения.

#### Библиографический список

1. Корнев В.Н. Морфология газопламенных покрытий при напылении водородно-кислородным пламенем / В.Н. Корнев, А.В. Коломейченко // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 117. С. 223–227.
2. Корнев В.Н. Эффективные технологические методы, оборудование и материалы для восстановления и упрочнения деталей газопламенным напылением / В.Н. Корнев, А.В. Коломейченко // Ремонт, восстановление, модернизация. № 6. 2014. С. 36–39.
3. Корнев В.Н. Моделирование процесса накатывания основы биметаллических подшипников скольжения / В.Н. Корнев, А.Ю. Родичев // Тяжелое машиностроение. № 6. 2014. С. 26–31.
4. Ли Р.И. Технологии восстановления деталей автотракторной техники / Р.И. Ли. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2014. 379 с.
5. Лялякин В.П. Восстановление деталей – важное направление импортозамещения при эксплуатации сельскохозяйственной техники // Труды ГОСНИТИ. М.: Изд-во ГОСНИТИ, 2015. Т. 119. С. 183–192.
6. Кременский И.Г. Покрытия для восстановления и упрочнения поверхности деталей // Ремонт, восстановление, модернизация. № 3. 2014. С. 46–48.
7. Хасуи А., Моричаки О. Наплавка и напыление / Под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
8. Борисов Ю.С., Харламов Ю.А. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Киев: Наукова Думка, 1987. 210 с.
9. ГОСТ 28076-89. Газотермическое напыление. Термины и определения.
10. ГОСТ 9.304-87. Покрытия газотермические. Общие требования и методы контроля.

**Корнев Владислав Николаевич** – к.т.н., доцент, заведующий сектором № 17 «Новые технологии» ФГБНУ Всероссийского научно-исследовательского технологического института ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка; 109428, Москва, 1-й Институтский пр., 1; тел.: +7(910)304-74-79; e-mail: korenev-vlad@list.ru.

**Колемейченко Александр Викторович** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой надежности и ремонта машин ФГБОУ ВО Орловского государственного аграрного университета; старший научный сотрудник ФГБНУ Всероссийского научно-исследовательского технологического института ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка; 109428, Москва, 1-й Институтский пр., 1; тел.: +7(910)300-02-32; e-mail: kolom\_sasha@inbox.ru.

*Статья поступил 4.06.2015*

# IMPROVING TECHNOLOGICAL METHODS, EQUIPMENT AND MATERIALS IN RESTORING AND STRENGTHENING OF MACHINE PARTS WITH FLAME SPRAYING

**V.N. KORENEV**

All-Russian Research Technological Institute for Repair and Utilization of Tractors and Automobiles (GOSNITI)

**A.B. KOLOMEYCHENKO**

Orel State Agrarian University

*The successful solution of problems associated with a reduction in the cost and weight of the product, while increasing durability makes it necessary to use composite materials. The most advanced technological processes for producing such materials include methods for applying protective and strengthening coatings. A special place among these belongs to the processes of thermal spraying. The improvement of manufacturing methods, materials and equipment for flame spraying coating methods allows controlling the service life of machinery parts by affecting their composition, structure and properties. In this connection the authors have analyzed technological methods, equipment and materials used in restoring and strengthening of machine parts with flame spraying. The paper provides extensive and in-depth consideration of the problems of increasing the flame spraying efficiency of the ways of its solving, as well as the results and future trends for the development of technological methods, equipment and materials used. Analyzing the existing materials and manufacturing techniques of restoring plain bearings allows choosing the technology of manufacturing bimetallic slide bearing instead of solid bronze bearings. The application of a steel substrate and plastic deformation for its treatment, as well as reasonable selection of antifriction bronze powder material can improve the performance indicators of the developed slide bearings. The authors have also found that the deposition of uniform and high quality coating on contoured surfaces requires ensuring the uniform movement of the burner located perpendicular to the surface at a predetermined distance from the workpiece as the optimal mode of deposition depends upon many factors including such modes as the angle and the spraying distance.*

*Key words: flame spraying, technology and equipment, adhesive strength, surface preparation, powder material, hydrogen-oxygen flame, bimetallic slide bearing, rolling.*

## References

1. Korenev V.N. Morfologiya gazoplamennykh pokrytiy pri napylenii vodorodno-kislorodnym plamenem (Morphology of gas-flame spraying coatings in hydrogen-oxygen flame) / V.N. Korenev, A.V. Kolomeychenko // Proceedings of GOSNITI. 2014. Vol. 117. Pp. 223–227.
2. Korenev V.N. Effektivnye tekhnologicheskie metody, oborudovanie i materialy dlya vosstanovleniya i uprochneniya detaley gazoplamennym napyleniem (Effective technological methods, equipment and materials for restoring and hardening with flame spraying) / V.N. Korenev, A.V. Kolomeychenko // Repair, Restoration, Modernization № 6, 2014. Pp. 36–39.
3. Korenev V.N. Modelirovanie protsessa nakatyvaniya osnovy bimetallicheskikh podshipnikov skol'zheniya (Modeling of substrate rolling of bimetallic slide bearings) / V.N. Korenev, A.Y. Rodichev // Heavy Machinery Building № 6. 2014. Pp. 26–31.
4. Li R.I. Tekhnologii vosstanovleniya detaley avtotraktornoy tekhniki (Technology of repairing automotive machinery parts) / R.I. Li. Lipetsk: LSTU, 2014. 379 p.
5. Lyalyakin V.P. Vosstanovlenie detaley – vazhnoe napravlenie importozameshcheniya pri ekspluatatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki (Restoration of parts as an important area of import substitution in farm machinery operation) // Proceedings of GOSNITI. M.: GOSNITI Publishing House, 2015. V. 119. Pp. 183–192.
6. Kremensky I.G. Pokrytiya dlya vosstanovleniya i uprochneniya poverkhnosti detaley (Coatings for restoration and hardening of parts surface) // Repair, Restoration, Modernization. № 3. 2014. Pp. 46–48.
7. Khasui A., Morichaki O. Naplavka i napylenie (Surfacing and spraying) / Edited by V.S. Stepin, N.G. Shesterkin. M.: Engineering, 1985. 240 p.
8. Borisov Yu.S., Kharlamov Y.A. Gazotermiticheskie pokrytiya iz poroshkovykh materialov

(Thermal spray coating from powder materials).  
Kiev: Naukova Dumka, 1987. 210 p.

9. GOST 28076-89. Gas thermal spraying.  
Terms and Definitions.

10. GOST 9.304-87. Thermal spraying coatings. General requirements and control methods.

**Vladislav N. Korenev** – PhD (Eng), Associate Professor, Head Section № 17 «New Technologies» Federal State Budgetary Institution «All-Russian Research Technological Institute for Repair and Utilization of Tractors and Automobiles (GOSNITI)»; phone: +7(910)304-74-79; e-mail: korenev-vlad@list.ru.

**Aleksandr V. Kolomeychenko** – PhD (Eng) – Higher Doctorate, Professor, Head of Department «Reliability and Repair of Machinery», Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Orel State Agrarian University»; Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution Federal State Budgetary Institution «All-Russian Research Technological Institute for Repair and Utilization of Tractors and Automobiles (GOSNITI)»; phone: +7(910)300-02-32; e-mail: kolom\_sasha@inbox.ru.

Received on June 4, 2015

УДК 631.3.004.67-631.145

**Б.Н. ОРЛОВ, Г.И. БОНДАРЕВА**

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

**Н.Б. ОРЛОВ**

Открытое акционерное общество «Республиканский Навигационно-информационный центр» (ОАО РНИЦ) РФ

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КАБИН ОПЕРАТОРОВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

*Вследствие усталостных явлений, которым подвержены штифты в процессе работы, снижается их несущая способность, а величина усилия, соответствующего разрушению штифта, может изменяться. Предохранительные модули обладают положительными качествами: простота конструкции, позволяющая быстро восстанавливать их работоспособность после её срабатывания и регулировать величину момента, незначительные расходы при изготовлении и эксплуатации. Испытания в условиях ступенчатого и непрерывного циклического нагружения элементов предохранительных модулей при различных соотношениях главных напряжений показывают, что увеличение скорости циклической ползучести приводит к росту повреждаемости металла, а её уменьшение – к замедлению. Эти закономерности можно использовать для оценки работоспособности предохранительного модуля, т.е. фактически подбирать для его изготовления материал модуля с высокими показателями повреждаемости. Перспективным является подход к оценке квазивязких свойств металла с учетом повреждаемости. Согласно развитию процессов ползучести определяется интенсивность неравновесных напряжений. При условии, что материал штифта предохранительного элемента представляет модель упруго пластичного тела, в зоне упругой деформации её свойства описываются матрицей. Остаточные напряжения в штифте от первоначальной пластической деформации оказывают влияние на процесс пластического разрушения при последующих нагрузках. Каждый последующий цикл нагружения увеличивает область пластической деформации приблизительно на 1/3. Так как это увеличение имеет место во время каждого цикла, пластичное напряжение возрастает ступенчато. Даже если нагрузка не приводит к разрушению, штифт предохранительного модуля деформируется, происходит процесс «возрастающего разрушения», что составляет приблизительно 80% для периферийного элемента.*

*Ключевые слова:* безопасность, предохранительный элемент, технология, нагружение, напряжение.