

## КОМБИНИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

*М.А. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ*

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
Минск, Беларусь*

*А.П. ЯЛОВИК*

*ОАО «Нефтезаводмонтаж», Новополоцк, Беларусь*

*Е.Ф. КОНОВАЛОВА*

*Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь*

Одним из наиболее эффективных путей решения задачи повышения ресурса и улучшения работоспособности восстанавливаемых деталей пар трения скольжения, эксплуатирующихся в широком диапазоне удельных нагрузок, является формирование покрытий толщиной 0,2–1,5 мм технологиями распыления проволок из высоколегированных сталей. Однако, в ряде случаев, согласно документации производителя, требуется обеспечить твердость восстановленных поверхностей не менее 60 HRC. Это относится к таким быстроизнашивающимся элементам трибосопряжений, как валы каландров, цилиндры печатных машин, стойки гидрокрепей, плунжеры и т.п.

Традиционным методом восстановления штоков гидроцилиндров является шлифование изношенной наружной поверхности штока до выведения следов износа и последующее «твердое» хромирование [1], но он не применим для штоков, на поверхности которых имеются следы коррозии, задиры и забоины или когда износ превышает 60 - 70 мкм. У гидроцилиндров с открытым выходом штока повторяемость указанных дефектов составляет более 70%. Технология электроконтактной приварки стальной ленты в данном случае также не подходит, поскольку не обеспечивается требуемая твердость. Более высокие показатели обеспечивает технология электродуговой наплавки с последующим гальваническим нанесением слоя хрома [2]. Однако, в процессе вибродуговой наплавки невозможно избежать интенсивного нагрева восстанавливаемой поверхности, которая недопустима при восстановлении валов (штоков) диаметром менее 120 мм, поскольку в результате отпуска резко снижаются механические свойства. Помимо того, гальваническое нанесение покрытий на подложки высокохромистых и высокоуглеродистых сталей, а также хромоникелевых сплавов требует многокомпонентных специальных составов сред, строго

соблюдения температурного режима и при этом не гарантирует положительного результата [3].

Авторами данной работы была предложена технология восстановления деталей узлов трения скольжения, включающая подготовку изношенной поверхности под газотермическое напыление, нанесение покрытия распылением проволок из высокохромистой стали газопламенным методом или гиперзвуковой металлизацией, шлифование, нанесение методом деформационного плакирования слоя меди и последующее хромирование [4].

В данной комбинированной технологии использование процессов газотермического напыления вместо электродуговой наплавки позволяет исключить нагрев восстанавливаемой поверхности выше 120 – 150 °С и сохранить механические свойства материала штока, достигнутые различными термообработками в процессе его изготовления. Нанесение слоя меди обеспечивает возможность формирования на нем слоя твердого хрома, используя широко применяемые составы для гальванического осаждения. При этом процесс деформационного плакирования щетками медного слоя взамен химического или электрохимического осаждения легко реализуется и не требует специальных емкостей, растворов и значительного расхода электроэнергии.

Выбор проволоки из высокохромистых сталей (содержание хрома более 14%) обусловлен необходимостью обеспечения высокой коррозионной стойкости покрытия, находящегося под слоем хрома. Даже при незначительном локальном нарушении сплошности хрома (трещина, забоина, царапина, отслаивание) в этих местах развиваются интенсивные процессы разрушения, если материал не способен противостоять коррозии. Но при этом требуется наличие высоких механических свойств, поэтому нержавеющие стали аустенитного класса (типа 12X18H10T) использовать нельзя. Твердость наносимого газотермического покрытия должна быть не ниже твердости материала штока после поверхностной закалки. Как правило, штоки гидроцилиндров и несущие стойки шахтных гидрокрепей изготавливают из стальных поковок 30 ХГСА или 40Х, а перед шлифовкой производят поверхностную закалку до HRC 42...44 [5]. Исходя из этого, необходимым сочетанием свойств обладают покрытия из высокохромистых сталей мартенситного класса с содержанием углерода не менее 0,4%. К таким сталям относятся, например, стали типа 40X13, 45X14H14B2M, 65X13, 95X18.

Авторами были проведены экспериментальные исследования по деформационному плакированию медью стальных газотермических покрытий металлическими щетками, позволившие установить связь между толщиной слоя меди со 100% сплошностью и максимальным размером (диаметром) поверхностных пор стального покрытия. Покрытия наносились

распылением проволок диаметром 1,8 мм из стали 40X13 с помощью установок газопламенного проволочного напыления «ТЕРКО» и гиперзвуковой металлизации АДМ-10 на паспортных режимах. Изменение пористости покрытий обеспечивалось изменением дистанции напыления. Деформационное плакирование медью осуществлялось на экспериментальной установке конструкции ОИМ НАН Беларуси вращающейся металлической щеткой с проволочным ворсом из гофрированной стальной проволоки, диаметр и ширина щетки составляли соответственно 150 и 15 мм, линейная скорость вращения 35,0...37,0 м/с, диаметр и вылет ворса – 0,25 и 35 мм соответственно. Медный донор, изготовленный в виде таблетки, прижимали к стальному ворсу с усилием 40 Н. Толщина плакирующего слоя измерялась с помощью прибора МТЦ – 3. Шероховатость поверхности по параметру Ra не превышала - 0,8...0,9 мкм. Сплошность, поверхностную пористость покрытий и размеры пор определяли на микроскопе «Polyvar» с помощью программного комплекса «Autoscan».

Математическая обработка результатов позволила получить зависимость между размером пор газотермических покрытий и толщиной слоев меди, имеющих 100% сплошность, которая описывается следующим выражением:

$$S = A + Bd_0^2 - 0,12d_0,$$

где:  $S$  – толщина слоя меди, мкм;

$d_0$  – максимальный диаметр поверхностных пор покрытия, мкм;

$A = 5...8$  мкм – коэффициент, зависящий от толщины игл щетки;

$B = (3,8...4,2) \cdot 10^{-3}$  мкм – коэффициент, зависящий от скорости полета и размера распыленных частиц проволоки.

Для покрытий, полученных распылением проволок газопламенным методом (скорость полета частиц около 100 м/с, средний размер распыленных частиц 60 мкм) коэффициент  $B$  составляет  $4,2 \cdot 10^{-3}$  мкм. Для покрытий, полученных гиперзвуковой металлизацией (скорость полета частиц около 400 м/с, средний размер частиц 20 мкм) коэффициент  $B$  составляет  $3,8 \cdot 10^{-3}$  мкм.

Предложенная комбинированная технология отличается экономичностью, простотой реализации и экологической безопасностью.

#### Литература

1. Корчмарь, А.Г. Разработка технологии восстановления и упрочнения электrolитическими покрытиями длинномерных валов сельскохозяйственных машин: на примере штоков гидроцилиндров: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. / А. Г. Корчмарь. – Кишинев, 1991. – 293 л.

2. Восстановление штоков (наплавка, шлифовка, хромирование и полировка) // Электронный ресурс: <http://www.сваебой-строймаш.рф/index.php/uslugi>. - Дата доступа 07.01.2020 г.

3. Демин А.А. Особенности электроосаждения хрома и его сплавов из сернокислых электролитов. Сб. трудов 7 Всесоюзной конференции по электрохимии, Москва, 1988, Т.1, с.359.

4. Способ восстановления штока гидроцилиндра: пат. 032976, Евразийское патентное ведомство / М. А. Белоцерковский, М.А. Леванцевич, А.В. Сосновский, Е.Ф. Коновалова, А.П. Яловик // Бюллетень ЕПВ «Изобретения» №8, 2019 г.

5. Тимошкин С.И. Гидроцилиндры – причины выхода из строя и требования к монтажу / Главный механик. – 2009. – № 2. – С. 23–27.

Титульные листы презентаций докладов

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»  
(«ИНТЕХМАШ – 20»)

**КОМБИНИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ.  
ФОРМИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА  
ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

***Белоцерковский М.А.***

*доктор технических наук, профессор,  
заведующий лабораторией "Объединенного  
института машиностроения" НАН Беларуси*



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЯМ  
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ОАО «НПО «ЦЕНТР  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК  
ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

## **Инновационные технологии в машиностроении**

Электронный сборник материалов международной  
научно-технической конференции,  
посвященной 50-летию машиностроительных специальностей  
и 15-летию научно-технологического парка  
Полоцкого государственного университета  
(Новополоцк, 21-22 апреля 2020 г.)



**ИннТехМаш**

Под редакцией  
чл.-корр. НАН Беларуси, д-ра техн. наук, проф. В. К. Шелега;  
д-ра техн. наук, проф. Н. Н. Попок

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

УДК 621(082)

*Редакционная коллегия:*

Н. Н. Попок (председатель), В. П. Иванов (зам. председателя),  
Р. С. Хмельницкий (отв. Секретарь), А.В. Дудан, В. А. Данилов, Е.В. Бритик

***Инновационные технологии в машиностроении*** [Электронный ресурс] : электронный сборник материалов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию научно-технологического парка Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 21-22 апр. 2020 г. / Полоц. гос. ун-т ; под. ред. В. К. Шелега; Н. Н. Попок. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-691-7.

Отражены современное состояние и направления развития технологии и оборудования механической и физико-технической обработки; рассмотрены вопросы создания современных материалов, изготовления, восстановления и упрочнения деталей машин, автоматизации производства, эксплуатации и модернизации автомобилей и других машин.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов технических специальностей учреждений образования.

Прилагаются [титulyные листы презентаций докладов](#) участников конференции.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3141815008 от 28.03.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 59-95-53, e-mail: n.popok@psu.by

**№ госрегистрации 3141815008****ISBN 978-985-531-691-7**

© Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Инновационный технологии в машиностроении» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Компьютерный дизайн *Е. А. Балабуевой*  
Техническое редактирование и верстка *И. Н. Чапкевич*

---

Подписано к использованию 23.04.2020.  
Объем издания: 10,9 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 264.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>