

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И
ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМАЦИОННО-
ПЛАКИРОВАННЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ ПОКРЫТИЙ**

М.А. ЛЕВАНЦЕВИЧ

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
Минск, Беларусь*

*И.А. КОЗЛОВСКИЙ, А.С. СТОЛЯРОВ, А.А. ГОЛУШКО
Барановичский государственный университет, Беларусь*

Введение. Для снижения трения скольжения в подвижных сопряжениях механических систем широко используют антифрикционные покрытия с гетерогенной (неоднородной) структурой, состоящей из распределенных в пластичной массе легирующих добавок из твердосмазочных материалов (графита, дисульфида молибдена, фторопласта и др) и твердых частиц (карбидов, боридов, нитридов, ультрадисперсных алмазов и др.). В процессе эксплуатации деталей с подобными покрытиями, благодаря тому, что пластичная матрица наиболее эффективно прилегает к поверхности контртела, твердосмазочные добавки снижают трение, а твердые частицы воспринимают контактное давление в зоне трения, значительно улучшаются условия работы трибосопряжения, что способствует существенному увеличению его ресурса [1].

Формирование покрытий с гетерогенной структурой, наряду с другими методами, можно осуществлять и методом деформационного плакирования гибким инструментом (ДПГИ), где в качестве гибкого инструмента используется вращающаяся металлическая щетка с проволочным ворсом, а слой покрытия на поверхности детали образуется за счет переноса ворсом щетки микрочастиц фрикционно взаимодействующего с ней материала покрытия (донора) [2]. При этом, в качестве донора целесообразно использовать материалы с гетерогенной структурой [3]. Однако, в силу недостаточной изученности процесса переноса частиц из материала донора в слой покрытия, а также триботехнических характеристик сформированных покрытий, выполнить прогнозную оценку их эксплуатационных свойств весьма затруднительно, что обуславливает необходимость проведения дополнительных исследований.

Цель работы заключалась в сопоставлении химических составов материала донора и сформированных из них слоев покрытий, а также в

сравнительной оценке триботехнических характеристик покрытий, сформированных методом ДПГИ, из материалов с гетерогенной структурой,.

Методы исследований. Анализ химического состава материала-донора, а также сформированного из этого материала методом ДПГИ слоя покрытия, проводили на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения "Vega" фирмы "Tescan" (Чехия) с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 с использованием детектора вторичных электронов (SE) и детектора обратно-отраженных электронов (BSE). При этом для изучения химического состава слоя покрытия использовались прямоугольные пластинки размером 20×50×3 мм из стали 45 (HRC 43...45) и серого чугуна СЧ-20 (HRC 43...45) на одной из поверхностей которых методом ДПГИ формировали покрытия (рис 1- б) с толщиной слоя 10...12 мкм из донора, представляющего собой композит на основе бронзы Бр 05С5Ц5Гр1ДМ0,5 (рис. 1- а), полученный путем спекания смеси порошков меди (83,5%), с легирующими добавками олова (5%), свинца (5%), цинка (5%) и компонентов твердой смазки - графита (1%) и дисульфида молибдена (0,5%).

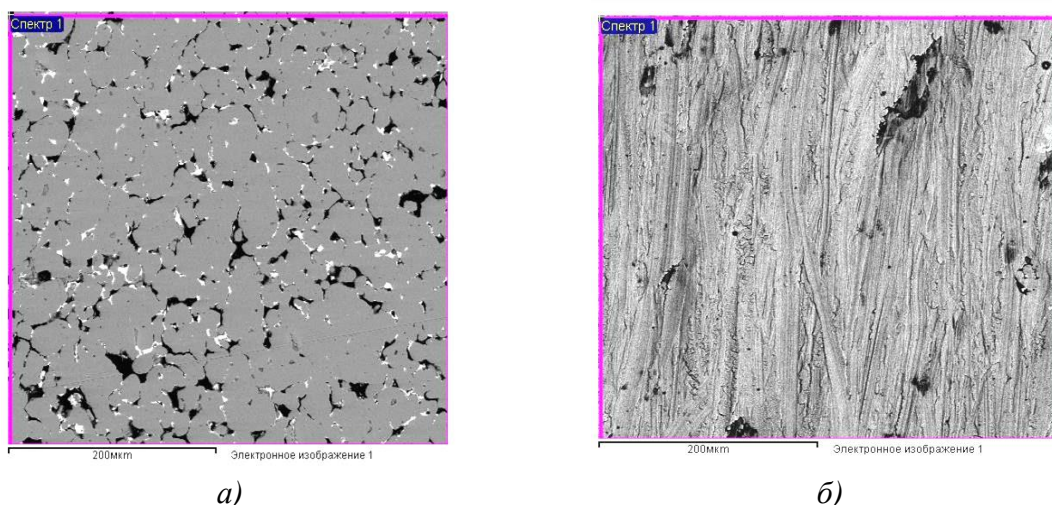


Рисунок 1. – СЭМ-изображение поверхностей материала донора (а) и сформированного из этого материала слоя покрытия (б)

Триботехнические испытания выполняли на машине трения возвратно-поступательного типа. При этом в качестве образцов использовали прямоугольные пластины размером 20×60×5 мм из стали 45 (HRC 52...55) и серого чугуна СЧ-20 (HRC 54...56), с нанесенным из этого же донора слоем покрытия толщиной 8...10 мкм, В качестве контробразца – цилиндрический ролик из незакаленного серого чугуна СЧ-20, диаметром 10×12 мм, осуществляющий трение по покрытой поверхности пластины плоским торцом. Смазывание дорожки трения осуществлялось маслом И20А (3

капли/мин). Относительная скорость взаимного перемещения - 0,1 м/сек. Удельное давление - 2,5 МПа. В ходе испытаний регистрировали коэффициент трения скольжения и весовой износ, определяемый по разности масс образцов и контрообразцов до испытаний и после испытаний.

Результаты и обсуждение. Сопоставление химических составов материала-донора и сформированного из этого материала методом ДПГИ слоя покрытия показало, что медь (матричный материал спеченного композита), а также легирующие добавки на основе металлов (цинк, олово, свинец) и неметаллов (графит и дисульфид молибдена) идентифицируются как в доноре, так и в покрытии (см. таблицу).

Таблица. – Химический состав материала-донора Бр05С5Ц5Гр1ДМ0,5 и сформированного из этого материала методом ДПГИ слоя покрытия

Вид материала	C	Cu	Zn	Mo	Sn	Pb	S	Fe	O
Донор	17,31	70,55	4,75	0,55	3,54	2,94	0,35		
Покрытие на стали	8,18	53,11	3,19	0,05	2,12	2,69	0,21	24,98	5,40
Покрытие на чугуна	7,77	58,11	3,66	0,76	3,19	2,93		17,73	5,84

При этом количественное содержание меди и легирующих добавок в слое покрытия обычно меньше, чем в доноре, хотя могут иметь место и некоторые превышения содержания в покрытии отдельных элементов. Что, возможно, связано со спецификой процесса переноса частиц донора ворсом щетки. Следует, также, отметить, появление в слое покрытия железа и кислорода. Железо, возможно, привносится как из ворса щетки, так и из поверхности основы. Кислород, скорее всего, образуется в результате окислительных процессов, которые имеют место быть при переносе ворсом щетки нагретых до высокой температуры частиц материала донора.

Анализ данных триботехнических испытаний показал, что сформированные покрытия как на пластинах из стали, так и чугуна, по сравнению с пластинами без покрытия, способствуют снижению коэффициента трения скольжения, в среднем 1,3...1,36 раза (рис. 2). При этом значения величин суммарного износа образцов и контрообразцов снижаются, в среднем, в 1,1 и 1,3 раза, при трении по пластинам с покрытием из стали и чугуна, соответственно.

Выводы. При формировании антифрикционных покрытий методом ДПГИ из материалов доноров с гетерогенной структурой сформированный слой покрытия также имеет гетерогенную структуру. В процессе плакирования ворсом щетки может переноситься от 60 до 100% частиц матричной металлической основы донора и его легирующих элементов из металлов, и

от 10 до 50% легирующих элементов из неметаллов. При этом в сформированном слое покрытия неизбежно появление железа (17...25%) и кислорода (5...6%). Благодаря сформированному покрытию представляется возможным снизить коэффициент трения скольжения в подвижном сопряжении в 1,3...1,36 раза и уменьшить износ в 1,1...1,3 раза.

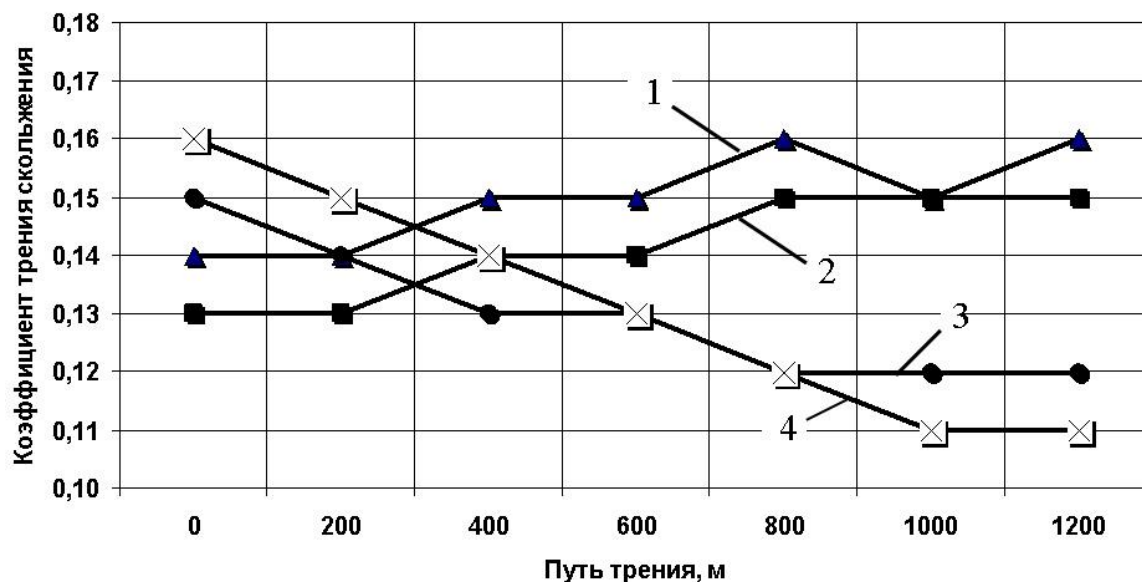


Рисунок 2. – Экспериментальные зависимости коэффициента трения скольжения от пути трения контрообразца по образцам, соответственно, из стали и чугуна без покрытия (1, 2) и с покрытием (3, 4)

ЛИТЕРАТУРА

1. Витязь, П.А. Повышение ресурса трибосопряжений активированными методами инженерии поверхности / П.А. Витязь, В.И. Жорник, М.А. Белоцерковский, М.А. Леванцевич. – Минск: Изд-во «Издательский дом Беларуская навука», 2012. - 348 с.
2. Белевский Л.С.. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогор. лица РАН, 1996. – 230 с.
3. Леванцевич М.А. Улучшение плавности хода подвижных узлов станков формированием антифрикционных покрытий на направляющих скольжения / М.А.Леванцевич // Перспективные технологии. Под. ред. В.В. Клубовича. - Витебск: Изд-во УО «ВГТУ». – 2011. – С. 542 – 566

**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.)



ИnnТехМаш

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. Балабуровой*
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>