

Скобло Т.С.<sup>1</sup>,  
Сидашенко А.И.<sup>1</sup>,  
Рыбалко И.Н.<sup>1</sup>,  
Сатановский Е.А.<sup>2</sup>,  
Олейник А.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный  
технический университет  
сельского хозяйства  
имени П. Василенко,  
г. Харьков, Украина

E-mail: kafedraTSRP@i.ua

<sup>2</sup>ГП «Завод имени В.А. Малышева»,  
г. Харьков, Украина

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ  
АЛМАЗОВ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИЧНОЙ  
ГРАФИТНОЙ СМАЗКИ**

УДК 621.892

*Исследована эффективность добавки в графитовую пластичную смазку детонационной шихты, которая обеспечивает повышение износостойкости сопряжений за счёт формирования вторичных защитных структур и более длительного периода эксплуатации в условиях стабильного поступления кислорода. Это также существенно снижает локальное схватывание трущихся поверхностей.*

**Ключевые слова:** высокодисперсные алмазы, детонационная шихта, пластичная смазка, трение, износостойкость, вторичные защитные структуры.

**Введение.** В работе исследовано влияние добавок высокодисперсных алмазов (ВДА) детонационного синтеза на характеристики трения скольжения стальных сопряжений при введении пластичной смазки на основе отработанного дизельного моторного масла с природным графитом Завальевского месторождения (пос. Завалье Гайворонского района Кировоградской области).

Работа выполнена Харьковским национальным техническим университетом сельского хозяйства имени Петра Василенко совместно с предприятием ГП «Завод им. В.А. Малышева».

**Целью исследований** является определение эффективности использования добавок ВДА детонационного синтеза для улучшения триботехнических характеристик пластичной смазки на основе отработанного дизельного моторного масла природным графитом.

**Постановка задачи.** В связи с сокращением мировых запасов энергетических ресурсов и резким обострением топливно-энергетического кризиса в настоящее время особенно актуальным является энергосбережение при производстве и эксплуатации машин и механизмов. Одним из путей энергосбережения является повышение ресурса работы узлов трения машин и механизмов, а также снижение потерь на трение при их работе. В последнее время для снижения потерь на трение и уменьшения износа деталей всё шире используются различные антифрикционные присадки и добавки к смазочным материалам [1-4]. Одними из таких добавок, как было показано ранее, являются высокодисперсные алмазы детонационного синтеза, производство которых может быть организовано при утилизации устаревших и некоторых других боеприпасов, что является важным и актуальным. В связи с этим в настоящей работе рассматривается эффективность влияния детонационной алмазосодержащей шихты на характеристики трения и износа при формировании смазки деталей, работающих в сопряжении.

**Объект и методика испытаний.** Объектом испытаний являлась графитная смазка, полученная загущением отработанного моторного дизельного масла М14В<sub>2</sub>, обогащенного природным графитом. С дополнительным модифицированием и без него алмазосодержащими продуктами детонационного синтеза.

Испытания проводили на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «диск-диск» с использованием стандартных образцов диаметром 50мм и высотой 12мм, а также по схеме «диск-колодка» с использованием плоской колодки размером 10х10х6мм. Испытания проводили (с учётом действующих методических рекомендаций РД-50-662-88) в диапазоне нагрузок 0,05-2,0 кН при скорости скольжения 0,78 м/с.

Характеристики материалов образцов, принятых для испытаний, следующие:

- «диски» изготовлены из технически чистого железа (Армо-железо) с твёрдостью 20-22 HRC (коэрцитивная сила  $H_c=2,0$  А/см);

- «диски» из стали 38ХС в состоянии поставки с твёрдостью 28-30 HRC (коэрцитивная сила  $H_c=8,0$  А/см);

- «колодки» изготовлены из стали 40 с твёрдостью 22-24 HRC<sub>3</sub>.

Ввод смазки осуществляли однократно перед началом испытаний нанесением её в количестве 1мл на поверхность трения образцов.

Испытания по определению зависимости коэффициента трения ( $f_{тр}$ ) от нагрузки (Р) и нагрузки задиробразования ( $P_3$ ) проводили при ступенчатом нагружении по 0,05 кН. Путь трения на каждой ступени составлял 30м. Испытания по определению величины износа проводили при нагрузке 0,2 кН в течение 45 мин.

**Результаты испытаний.** Анализируются результаты испытаний по определению зависимости  $f_{тр}$  от Р и  $P_3$ .

Результаты испытаний при ступенчатом нагружении по определению  $f_{тр}$  от Р и  $P_3$  приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Коэффициент трения различных вариантов пластичной смазки**

№ п/п	Смазка	Значение $f_{тр}$ при нагрузке Р, кН								
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
1	Графитная	0,56	0,46	0,40	0,38	0,34	0,31	↑		
2	Графитная с ВДА	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,32	0,27	0,26	↑
3	Без смазки	0,36	0,40	0,37	0,32	↑				

Примечание: Стрелкой указаны нагрузки, при которых отмечается появление задиrow

Анализ полученных данных показал, что добавка алмазосодержащих продуктов детонационного синтеза к графитной смазке обеспечивает возможность повышения нагрузки для развития процесса задиробразования и снижение коэффициента трения испытанных образцов. Графитная смазка также повышает  $P_3$ , но  $f_{тр}$  оказывается более низким при трении образцов без нанесения смазки. Наблюдаемое связано с наличием оксидных плёнок и адсорбированного кислорода на поверхностях трения сопоставляемых образцов.

Результаты испытаний по определению влияния добавок ВДА на износ образцов сопрягаемых материалов представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Износ образцов сопрягаемых материалов**

№ п/п	Смазка	Износ «диска», г	Износ «колодки», г	$f_{тр}$
1	Графитная	0,0518	0,0077	0,34
2	Графитная с ВДА	0,0260	0,0052	0,30

Полученные данные показывают, что добавка ВДА к пластичной графитной смазке существенно (в ~ 2 раза) снижает износ подвижного образца «диска». Износ «колодки» также снижается при добавке ВДА, но в меньшей степени. Это может быть связано с условиями контактирования образцов, а также с различными в свойствах, используемых материалов. Образец «колодка» имеет меньшую твёрдость, поэтому легче

шаржируется ВДА, что способствует уменьшению износа. Коэффициент трения также снижается при использовании смазки с ВДА, что согласуется с результатами, приведенными в табл. 1.

Для установления роли детонационной шихты в повышении стойкости пар трения был разработан метод определения вторичных защитных структур, который базировался на оценке их роли и формируемой толщины в процессе эксплуатации [3, 5].

Установлено, что детонационная шихта при трении формирует царапины, которые накапливают эту шихту на первом этапе эксплуатации, а затем по мере износа постепенно она поступает в очаг взаимодействия между сопрягаемыми деталями. Это является важным, поскольку очаг трения всё время насыщается кислородом новой порции шихты. Расчётами и моделированием процесса трения выявлено, что при такой добавке шихты, которая содержит 3,37-3,43% нано- и микроалмазов, а также окислы Cu и Fe, на протяжении длительного времени сохраняет наличие кислорода, который и обеспечивает стабильное формирование вторичных защитных структур. Толщина такой плёнки в различных поверхностях трения достигает 0,32-1,34 мкм. Такая защитная плёнка сохраняется до тех пор, пока в очаге трения имеется кислород. При его отсутствии графит в смазке превращается в абразив и проявляется эффект схватывания.

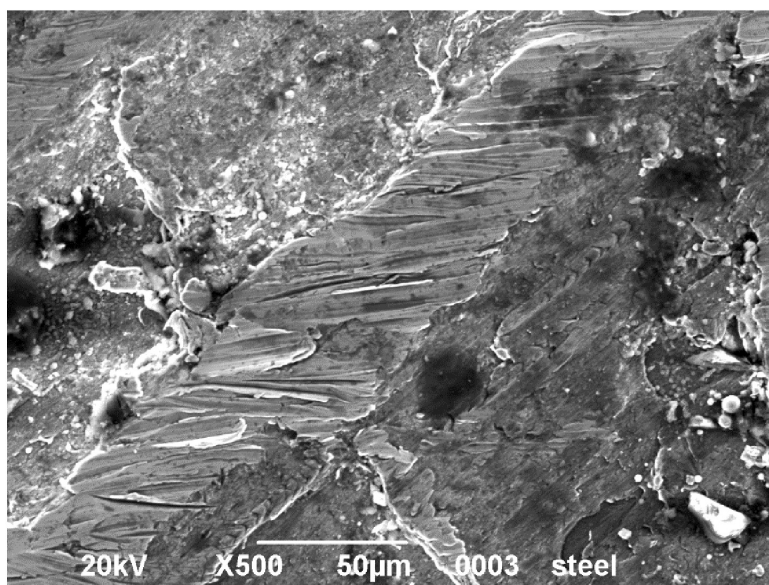


Рис. 1 – Поверхность царапины после полного удаления смазки и детонационной шихты, которые располагаются рядом

Выполненными комплексными исследованиями с использованием микроскопии и локального спектрального анализа предложен метод выявления и определения толщины окисных плёнок [3, 4].

В процессе разрушения нано-и микроалмазов ранее сформированные царапины частично залечиваются, но появляются новые при вновь поступлении шихты в очаг трения, однако уже формируются царапины меньшей ширины из-за разрушения микроалмазов при трении. На рис. 1 приведена электрономикроскопическая картина трения при условии появления вторичных царапин малой ширины, которые не способны удерживать мелкие зёрна шихты, и они располагаются рядом с первичной царапиной.

**Выводы.** В результате проведенных исследований показана эффективность добавки в графитовую пластичную смазку детонационной шихты, которая обеспечивает повышение износостойкости сопряжений за счёт формирования вторичных защитных структур и более длительного периода эксплуатации в условиях стабильного поступления кислорода. Это также существенно снижает локальное схватывание трущихся поверхностей.

### Литература:

1. Марков А.В. Утилизация боеприпасов для вторичного использования при производстве и восстановлении деталей / А.В. Марков // Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». – Харьков, 2013. – №8. – С. 52-55.
2. Рыбалко И.Н. Модифицирование вторичным сырьём пластичной смазки для резьбовых соединений / И.Н. Рыбалко // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 27-28 октября 2017 г. – Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2017. – С. 202-208.
3. Патент №107500 Україна, МПК G01B 21/8 (2006.01) Спосіб визначення товщини захисних оксидних плівок, що формуються при терті / Т.С. Скобло, О.Ю. Марченко, О.І. Сідашенко, І.М. Рибалко, Є.А. Сатановський, О.К. Олейник, О.В. Марков; заявник та патентоутримувач Т.С. Скобло. - и 2015 12140. заявл. 07.12.15.; опубл. 10.06.16., Бюл. № 11.
4. Патент №108224 Україна, МПК (2016.01) C10M 101/00 Енергозберігаючий спосіб підвищення зносостійкості виробів модифікуванням мастила вторинною сировиною / Т.С. Скобло, О.Ю. Марченко, О.І. Сідашенко, І.М. Рибалко, О.О. Гончаренко, Є.А. Сатановський, О.К. Олейник, О.В. Марков; заявник та патентоутримувач Т.С. Скобло. - и 2015 12910. заявл. 28.12.15.; опубл. 11.07.16., Бюл. № 13.
5. Определение толщины защитных оксидных пленок, формируемых при трении / И.Н. Рыбалко, А.С. Полянский, А.Ю. Марченко, В.В. Коломиец // Міжнародний науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». – Харків, 2017. - №9. – С. 28-33.

### Summary

**Scoblo T., Sidashenko A., Rybalko I., Satanovskii E., Oliinyk A.** Influence of additives of high-different diamonds on tribotechnical characteristics of plastic graphite lubrication.

*The efficiency of adding detonation charge to graphite plastic lubrication is investigated, which provides an increase in wear resistance of couplings due to the formation of secondary protective structures and a longer period of operation under conditions of stable oxygen supply. This also significantly reduces the local setting of rubbing surfaces.*

**Keywords:** highly disperse diamonds, detonation charge, plastic lubrication, friction, wear resistance, secondary protective structures.

### References

1. Markov A.V. Utilizatsiya boeprilasov dlya vtorichnogo ispolzovaniya pri proizvodstve i vosstanovlenii detaley / A.V. Markov // Informatsionno-analiticheskiy mezhdunarodnyiy tehnicheskiy zhurnal «Promyishlennost v fokuse». – Harkov, 2013. – №8. – S. 52-55.
2. Rybalko I.N. Modifitsirovanie vtorichnyim syrYom plastichnoy smazki dlya rezbovyih soedineniy / I.N. Rybalko // Sovremennaya tehnika i tehnologii: problemy, sostoyanie i perspektivy: Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnyim uchastiem 27-28 oktyabrya 2017 g. – Rubtsovsk: Rubtsovskiy industrialnyiy institut, 2017. – S. 202-208.
3. Patent №107500 Ukraina, MPK G01B 21/8 (2006.01) Sposib viznachennya tovschini zahisnih oksidnih plivok, scho formuyutsya pri terti / T.S. Skoblo, O.Yu. Marchenko,

- O.I. Sidashenko, I.M. Rybalko, E.A. Satanovskiy, O.K. Oleynik, O.V. Markov; заявник та патентотримувач Т.С. Скобло. - u 2015 12140. заявл. 07.12.15.; opubl. 10.06.16., Byul. № 11.
4. Patent №108224 Ukraina, МПК (2016.01) C10M 101/00 EnergozberIgayuchiy sposlb pIdvishchennya znosostIykostI virobIv modiflkuvannyam mastila vtorinnoyu sirovinoyu / T.S. Skoblo, O.Yu. Marchenko, O.I. Sidashenko, I.M. Rybalko, O.O. Goncharenko, E.A. Satanovskiy, O.K. Oleynik, O.V. Markov; заявник та патентотримувач Т.С. Скобло. - u 2015 12910. заявл. 28.12.15.; opubl. 11.07.16., Byul. №13.
  5. Opredelenie tolschinyi zaschitnyih oksidnyih plenok, formiruemyih pri trenii / I.N. Rybalko, A.S. Polyanskiy, A.Yu. Marchenko, V.V. Kolomiets // Mizhnarodniy naukoviy zhurnal «Tehnichniy servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv». – Harkiv, 2017. – №9. – S. 28-33.