

## ПРОЯВЛЕНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ В ПОВЕРХНОСТНО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕТАЛЛАХ

© 2011 Т. Г. Камалова, А. Г. Сырков, Д. С. Быстров

*Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г. В. Плеханова (Технический университет),  
В.О., 21 линия, д.2, 199106 Санкт-Петербург, Россия*

Поступила в редакцию: 27.12.2010 г.

**Аннотация.** Выявлен синергетический эффект, связанный с повышением антифрикционных свойств после смесевой обработки поверхности металла парами катионактивных ПАВ (алкамоном и триамоном). При использовании Al-пудры, модифицированной в смесевом режиме, и добавлении ее к смазке интегральный показатель трения (сила терния) в стандартной трибологической паре, по данным акустического метода, снижается в несколько раз по сравнению со случаем, когда применяют Al-пудру, модифицированную только одним компонентом (алкамоном или триамоном). Аналогично, после смесевой обработки поверхности стальных шариков, одинаковых по массе и диаметру, скорость их равномерного движения в установке Стокса, заполненной касторовым маслом, возрастает, в среднем, на 30%. Это свидетельствует о снижении сопротивления жидкой среды. Предложена интерпретация наблюдаемых эффектов.

**Ключевые слова:** синергетика, нанотрибология, поверхность металла, модифицирование металлической поверхности, катионные ПАВ, установка Стокса.

В настоящее время в физике конденсированного состояния и в материаловедении все чаще для объяснения строения, механизма формирования и свойств наноструктурных объектов используют представления о самоорганизации вещества и о синергетике. В какой-то степени можно даже говорить о том, что наличие в высокоорганизованных веществах синергетических эффектов и осцилляций различных свойств — это необходимые атрибуты наноструктурированных материалов. Подобные материалы находят широкое применение в науке и технике: как компоненты электронных систем, защитных покрытий, композитов, гетерогенных катализаторов и т. д.

К моменту начала предлагаемого исследования из работ [1—3] был известен синергетический эффект, связанный с повышением энергии связи электронов азота уровня N1s после смесевой обработки стали разбавленным водным раствором алкамона (А) и триамона (Т). Усиление этой энергии примерно на 2 эВ сопровождается ростом антифрикционного эффекта, повышением гидрофобности и антикоррозионных свойств твердой поверхности по сравнению с образцами, обработанными

только одним компонентом (алкамоном или триамоном) [4].

Цель данной работы состояла в том, чтобы изучить возможность синергетического эффекта, связанного с повышением антифрикционных свойств после газофазной обработки поверхности металла парами катионных ПАВ (алкамоном и триамоном).

Антифрикционные свойства образцов с однотипными покрытиями, полученными по методике [2], оценивали двумя путями. 1. Методом акустической эмиссии на порошках Al-пудры с нанопокрывками, которые использовали в качестве присадки (1 мас. %) для смазки (масла И-20) в стандартной трибологической паре металл-металл. 2. Путем относительной оценки сопротивления среды при прохождении через нее металлических шариков одинаковых по массе и диаметру с разными нанопокрывками [5].

Измерение интегральных показателей трения (пропорциональных силе трения  $F_{тр}$ ) и их зависимостей от величины нагрузки проводили с помощью сертифицированного прибора АРП-11 акустическим методом в ультразвуковом диапазоне частот

**Таблица 1.** Влияние нанопокрyтия на время и скорость равномерного движения шарика с диаметром  $d=(4,50\pm 0,01)$  мм и массой  $m=(0,3550\pm 0,0001)$  г в установке Стокса

Вид поверхности металла	Время движения (среднее), с	Скорость движения шарика, см/с
Не обработана модификаторами	6,50	6,15
Обработана триамоном	5,99	6,67
Обработана алкамоном	5,85	6,83
Обработана смесью алкамона и триамона	4,96	8,06

20—300 кГц на горно-электромеханическом факультете СПГИ (ТУ) [4]. Действие прибора основано на анализе параметров акустической эмиссии по ГОСТ 27655-88.

Для определения относительного сопротивления использовали установку Стокса [6]. В качестве исходных образцов для опытов были отобраны омедненные стальные шарики (ружейная дробь) одинаковых диаметра и массы. Шарики обрабатывали в парах алкамона и триамона по различной программе. Измеряли скорость равномерного движения полученных шариков с различными нанопокрyтиями в касторовом масле. Покрытие (образцу) с наименьшим сопротивлением среды соответствует наименьшее время прохождения одного и того же фиксированного расстояния ( $l=40$  см) в масле. Время определяли электронным секундомером с точностью  $\pm 0,01$  с.

Анализ данных табл. 1, показывает, что скорость падения шариков, одинаковых по массе и диаметру, в среде масла увеличивается от образцов, покрытых только одним компонентом А или Т к образцу, полученному смесевой обработкой (А+Т), что отвечает, очевидно, наиболее «скользкой» твердой поверхности.

Близкий по смыслу результат получен акустическим методом для трибологической пары со смазкой, наполненной порошками алюминия ( $S_{уд}=2,6\pm 0,2$  м<sup>2</sup>/г) с поверхностью, модифицированной алкамоном и триамоном по аналогичным программам.

Из табл. 2 видно, что образец Al/(A+T) имеет наименьший интегральный показатель трения, чем образцы Al/T и Al/A, то есть порошок, модифицированный в смесевом режиме, наиболее сильно снижает трение в системе. По сути вещества (А и

Т), которыми обрабатываются присадки к маслу и стальные шарики, являются синергистами, поскольку действуют таким образом, что активность их смеси превышает активность их компонентов (см. табл. 1 и табл. 2).

В работе [4] наилучшие антифрикционные свойства смазки с присадкой Al/(A+T) связаны с достаточной гидрофобностью и стабильным (без осцилляций) водоотталкивающим эффектом этой присадки. Наблюдаемые эффекты могут быть объяснены влиянием наноподслоя низкомолекулярного триамона в образцах после смесевой обработки, который благодаря стерической доступности атома азота в составе аммонийного катиона способен химически взаимодействовать с металлом и внешним более гидрофобным слоем алкамона, обеспечивая стабильность структуры и свойств модифицированного металла. Эти представления, отчасти, подтверждены ранее для стали методом РФЭ-спектроскопии [7] и на Al-пудре ПАП-2 при измерении адсорбции воды в модифицированных образцах [2].

**Таблица 2.** Влияние типа присадки на интегральный показатель трения  $D$ 

Образец присадки (1 мас. % в смазке)	Значение $D$ при $P=47$ МПа
Al	1690
Al/T/A	1000
Al/A	910
Al/T	780
Al/(A+T)	300

*Работа выполнена в рамках Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (2008—2012 гг.): фундаментальное исследование №1.13.08 (№ гос. рег. 0120.0852107)*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сырков А. Г., Быстров Д. С., Вахренева Т. Г. и др. // Химическая физика и мезоскопия. 2009. Т. 11. № 4. С. 462—466.
2. Сырков А. Г., Быстров Д. С., Журенкова Л. А. и др. // Цветные металлы. 2009. № 2. С. 79—82.
3. Сырков А. Г., Плескунов И. В., Ремзова Е. В. и др. // Записки горного института. 2007. Т. 173. С. 237—239.
4. Тарабан В. В., Сырков А. Г., Быстров Д. С. и др. // Конденсированные среды и межфазные границы. 2009. № 4. С. 323—327.
5. Вахренева Т. Г., Уразаева М. Р., Сырков А. Г. // Записки Горного института. 2007. Т. 170. С. 240—243.
6. Трофимова Т. И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2004. 530 с.
7. Махова Л. В., Сырков А. Г., Степанова И. В. и др. // Конденсированные среды и межфазные границы. 2003. Т. 5. № 3. С. 423—428.

*Камалова Татьяна Геннадьевна* — аспирант, Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г. В. Плеханова (технический университет)

*Kamalova Tatyana G.* — the post-graduate student, St.-Petersburg State Mining Institute of G. V. Plehanova (technical university)

*Сырков Андрей Гордианович* — д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г. В. Плеханова (технический университет); тел.: (812) 3289019, e-mail: syrkovandrey@mail.ru

*Syrkov Andrey G.* — grand PhD (technical sciences), professor, St.-Petersburg State Mining Institute of G. V. Plehanova (technical university); tel.: (812) 3289019, e-mail: syrkovandrey@mail.ru

*Быстров Дмитрий Сергеевич* — к.х.н., ассистент, Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г. В. Плеханова (технический университет)

*Bystrtov Dmitry S.* — PhD (chemistry sciences), assistant, St.-Petersburg State Mining Institute of G. V. Plehanova (technical university)