

УДК 544.72:538.9

**Т.Г.ВАХРЕНЕВА**

*Горно-электромеханический факультет, группа ММ-04,  
ассистент профессора*

**М.Р.УРАЗАЕВА**

*Горный факультет, группа ИЗ-05-2*

**А.Г.СЫРКОВ**

*профессор кафедры общей и технической физики*

## **ОПЫТ ОЦЕНКИ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА МЕТОДОМ СТОКСА**

Обоснована возможность относительной оценки антифрикционных свойств твердой поверхности на установке Стокса. На поверхность одинаковых стальных шариков нанесли нанопокрытия на основе катионных поверхностно-активных веществ. Измерение времени и скорости равномерного движения серии шариков с разными нанопокрытиями показало, что наименьшее время (наибольшая скорость) соответствует образцу, содержащему оба вида катионных препаратов в поверхностном слое. Эти данные не противоречат результатам промышленных испытаний смазки соответствующими препаратами высокоскоростного конвейера со стальной транспортировочной трассой и нашим экспериментам.

Opportunities to use the Stox equipment for relative estimation of antifriction properties of a solid surface are justified. Measuring of time and speed of uniform movement of similar steel balls with different nanocoatings showed that the least time (the highest speed) was registered for the sample which contains both kinds of cationic tensides in its surface layer. The data does not contradict results of industrial tests on conveyers with steel transport band and the best antifriction effect for lubricant composition.

Термин трибология переводится как наука о трении. В последнее десятилетие интенсивное развитие получила нанотрибология – область физики поверхности, объединившая экспериментальное и теоретическое изучение адгезии, трения, износа и смазки, химической активности и трибоэлектромагнетизма наnanoструктурном уровне [1].

По современным представлениям, антифрикционный эффект проявляется интенсивнее в случае гидрофобизации твердой поверхности и усиления адгезии вещества смазки к поверхности, т.е. замещения по-

лярной поверхности неполярной, обладающей малым силовым полем и, следовательно, слабо взаимодействующей. До сих пор нет единого мнения о том, какой из этих факторов важнее [3, 4]. Другая сложная проблема состоит в малодоступности методов количественной оценки коэффициента трения или смазывающего действия антифрикционных материалов, наносимых на поверхность. Прямой ответ о надежности действия смазки дает непосредственное испытание на высокоскоростном производственном конвейере путем измерения времени безостановочной работы конвейера (чем

больше время, тем лучше работает смазка) [2]. Но систематические испытания такого рода всегда сопровождаются организационными и финансовыми трудностями. Для оценки коэффициента трения антифрикционных покрытий и жидких смазок применяют также четырехшариковый трибометр [3], цена которого в современных рыночных условиях превышает 260 тыс. руб. Для оценки антифрикционных свойств жидких смазок близкой вязкости применяют также метод, в котором измеряют время падения одинаковых шариков в высоких цилиндрах, наполненных разными жидкостями (чем меньше время, тем выше антифрикционные свойства). Основной недостаток этого метода – необходимость наработки или покупки не менее 10 л жидкостей каждого из изучаемых составов.

Цель работы состояла в исследовании возможностей метода Стокса для относительной оценки антифрикционных свойств нанопокрытий различных препаратов на поверхности металла (стали). Мы использовали установку из учебной лаборатории кафедры общей и технической физики, применяемую обычно для определения коэффициента вязкости по методу Стокса. Помимо установки, мы заимствовали идею измерения скорости равномерного движения различных шариков в касторовом масле, которым заполнен вертикальный сосуд в виде цилиндра высотой около 1 м. Мы исходили из того, что если взять стандартные стальные шарики одинаковой массы и диаметра, содержащие на поверхности смазывающие нанопокрытия разного вида, то покрытию с наилучшими антифрикционными свойствами должно отвечать наименьшее время про-

хождения одного и того же фиксированного расстояния в одной и той же жидкой среде. Мы отбирали для опытов шарики, отличающиеся по диаметру не более чем на 0,003 мм, и по массе – в пределах чувствительности использованных электронных аналитических весов (около 0,1 мг).

В качестве исходных препаратов на основе катионных поверхностно-активных веществ (ПАВ) использовали триамон (ТУ 6-14-1059-83), алкамон (ГОСТ 10106-75), смесь триамона и алкамона (ТУ 2482-001-054198731-2000) примерно в равных частях, а также наносили нанопокрытие на основе органосилоксанов, полученное из гидрофобизирующей жидкости ГКЖ-94. Нанесение препаратов на поверхность стальных шариков проводили из сильно разбавленных водных растворов ПАВ и ГКЖ в одинаковых условиях. Диаметр шариков измеряли микрометром.

Стальные шарики с нанопокрытиями были опущены в касторовое масло. Измерялось время прохождения шариком участка пути, равного 40 см, на котором скорость падения шарика постоянна. Время определяли электронным секундомером с точностью до 0,01 с.

Анализ данных табл.1 показывает, что время падения шариков одинаковой массы и размеров в среде масла уменьшается в направлении от образцов, покрытых нанопленкой алкамона или триамона к образцу, содержащему в поверхностном слое оба этих катионоактивных препарата. Полученный результат не противоречит данным промышленных испытаний, выполненных ранее в ОАО «Балтика» на высокоскоростном конвейере со стальной транспортирующей трассой (табл.2) [2].

Таблица 1

**Влияние вида нанопокрытия на время и скорость равномерного движения шарика**

Нанопокрытие	Диаметр, мм	Масса, г	Время движения шарика, с	Скорость движения шарика, м/с
Алкамон	3,472	0,1112	13,39	0,0299
Триамон	3,475	0,1113	13,30	0,0301
Из ГКЖ-94 с фосфатным подслоем	3,472	0,1112	12,99	0,0308
Алкамон / триамон	3,475	0,1111	12,39	0,0323

Таблица 2

## Результаты промышленных испытаний смазывающих препаратов

Препарат, адсорбированный на стали	Состав (формула) препарата	Энергия связи N1S на стали, эВ	τ, ч	Смазывающее действие, относительные единицы
Алкамон	A: $[C_nH_{2n+1}OCH_2N(CH_3)(C_2H_5)_2][CH_3SO_4^-]$ , $[C_nH_{2n+1}O(C_2H_4O)_2CH_2N(CH_3)(C_2H_5)_2][C_6H_5SO_3^-]$ , где $n = 10 \div 18$	402,4	2,0-2,5	1,2-1,3
Триамон	T: три-(бета-оксиэтил)метиламмоний метилсульфат $[(HOC_2H_4)_3NCH_3][CH_3SO_4^-]$	402,1	1,5-2,0	1,0
Смесь алкамона и триамона в пропорции 1 : 1	A/T	404,1	≥10-15	7,0-10,0

**Примечание.** τ – время безостановочной работы высокоскоростного конвейера со стальной транспортирующей трассой, А – алкамон, Т – триамон.

Решающим фактором в обеспечении наивысшего антифрикционного эффекта является, по-видимому, достаточно сильное гетероатомное взаимодействие азота ПАВ с металлом, подтверждаемое значением энергии связи уровня N1S в измеренных рентгенофотоэлектронных спектрах (РФЭС). Энергия связи наибольшая в случае адсорбции из смеси препаратов с их примерно одинаковым содержанием по массе [4].

Другой результат свидетельствует, насколько важным может быть удачно выбранный согласующий подслой между внешним смазывающим покрытием и металлом (см. табл.1). Шарик, содержащий внешнее покрытие из алкамона и триамона, имеет меньшее время падения и соответственно большую скорость равномерного движения, чем шарик с внешним покрытием, полученным из ГКЖ с фосфатным подслоем. В гравиметрических исследованиях было показано, что слой ГКЖ является намного более гидрофобным, чем алкамон на стали [5]. Жидкость ГКЖ-94, в отличие от алкамона, является стандартным гидрофобизирующим препаратом, который в промышленном масштабе используется для усиления водоотталкивающих свойств различных твердых материалов.

### Выводы

1. С точки зрения фундаментальных знаний о механизме трения, в нашей работе получены, по крайней мере, два результата, показывающие, что из двух значимых факторов (гидрофобизации и адгезии) для оптимального антифрикционного эффекта более важным является, очевидно, величина адгезии нанопокрытия к металлу.

2. Апробированная методика оценки антифрикционных свойств поверхности не противоречит данным промышленных испытаний изученных смазочных составов и позволяет провести предварительный отбор этих составов без длительных и дорогостоящих исследований.

3. Предложенный вариант использования установки Стокса, дает возможность разнообразить число индивидуальных заданий студентам при выполнении соответствующей лабораторной работы и определять не только коэффициент вязкости жидкости, но и оценивать относительные трибологические характеристики жидкости и шариков.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дедков Г.В. Нанотрибология: экспериментальные факты и теоретические модели // Успехи физических наук. 2000. Т.170. № 6. С.585-618.

2. О влиянии энергии связи N1S адсорбированных наноструктур на смазывающее действие поверхностноактивных веществ на границе раздела металл – стекло и металл – полимер / Л.В.Махова, А.Г.Сырков, А.В.Фе-

дотов, С.Е.Демьянов, И.В.Степанова // Конденсированные среды и межфазные границы. 2003. Т.5. № 4. С.423-428.

3. Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества: Справочник / Под ред. А.А.Абрамзона, Е.Д.Щукина. Л.: Химия, 1984. 392 с.

4. Сырков А.Г. О взаимосвязи изолирующих и антифрикционных свойств ионогенных ПАВ на поверхно-

сти металла / А.Г.Сырков, А.В.Федотов, И.В.Плескунов // Цветные металлы. 2005. № 9. С.40-44.

5. Ярцев И.К. О взаимосвязи гидрофобности покрытий на поверхности стали и их защитных свойств и о роли наноструктурных добавок / И.К.Ярцев, В.Н.Плескунов, А.Г.Сырков и др. // Цветные металлы. 2005. № 9. С.36-40.