

УДК 53.06

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВАКУУМА И КОЭФФИЦИЕНТА ПОКРЫТИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОРБАТОМ

Скрылев Александр Витальевич

*Студент 5 курса
кафедры «Электронное машиностроение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.А. Деулин,
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронное
машиностроение»*

Аннотация

В работе представлены результаты экспериментальных исследований зависимости коэффициента покрытия поверхностей сорбатом от коэффициента трения при 22° С и различных значениях влажности. Представленные результаты подтверждают создаваемую авторами теорию «сухого трения» и являются основой для создания прибора для измерения вакуума в сверхшироком диапазоне и коэффициента покрытия. Приведена конструкция разрабатываемого датчика для измерения вакуума в сверхшироком диапазоне и коэффициента покрытия поверхностей сорбатом.

Предпосылки создания

Каталоги фирм в области вакуумной техники демонстрируют высочайшее разнообразие приборов для измерения остаточного давления, от которого разбегаются глаза. Ряд предлагаемых на рынке приборов имеет широкий (до 10 порядков давления) диапазон измерения вакуума. Технические решения подобных приборов заключаются в объединении в одном корпусе нескольких датчиков, обладающих узким (до 4-х порядков) диапазоном измеряемых давлений и основанных на разных физических принципах (теплопроводности, ионизации атомов и др.). Стоимость таких приборов на 1-2 тысячи долларов превышает суммарную стоимость традиционных датчиков, заменяемых подобными широкодиапазонными приборами.

В современных технологиях нанесения тонких пленок, сборки фотоэлектронных приборов (ФЭП), в технологии молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), в установках для экспериментальных термоядерных исследований типа «Токамак» и др. важно знать значение коэффициента покрытия поверхностей сорбатом для определения степени чистоты

поверхности, поскольку этот параметр является критичным, но для его прямого измерения в настоящее время не создано приборов, а рассчитывается он по известным уравнениям сорбции: Генри, Ленгмюра, БЭТ и др. Проблема использования подобного расчета заключается в том, что оценку коэффициента покрытия производят удаленно от исследуемой поверхности как по времени, так и по расстоянию.

На основе теории «сухого трения», создаваемой Деулиным Е.А., разработана конструкция датчика для измерения вакуума в сверхшироком диапазоне давлений и коэффициента покрытия поверхностей сорбатом, который способен решить описанные выше проблемы современных технологий.

Принцип работы датчика основан на том, что при изменении остаточного давления, температуры, влажности и газового состава происходят не только количественные изменения сорбированного газа (коэффициента покрытия), но и качественные изменения в природе и характере трения [1]:

- в области давлений ($10^5 - 10$) Па – доминирует «капиллярное трение»,
- в области давлений ($10 - 1$) Па – сочетается действие капиллярного и вязкостного трения, т.е. имеет место «капиллярно-вязкостное трение»,
- в области давлений ($1 - 10^{-1}$) Па – доминирует «вязкостное трение»,
- в области давлений ($10^{-1} - 10^{-7}$) Па – доминирует «адгезионное » трение,
- в области давлений $P < 10^{-7}$ Па – доминирует «когезионное» трение.

Создаваемый датчик основывается на функциональной зависимости коэффициента покрытия поверхностей сорбатом, остаточного давления и коэффициента трения [2]. Данная зависимость была исследована для пар трения металл-металл и диэлектрик-диэлектрик. Эксперименты показывают, что рассматриваемая зависимость применима также и в случае дифференцированного трения-скольжения, реализуемого в шарикоподшипнике [3]. Представленные диаграммы на рис.1 и рис.2 иллюстрируют эту зависимость.

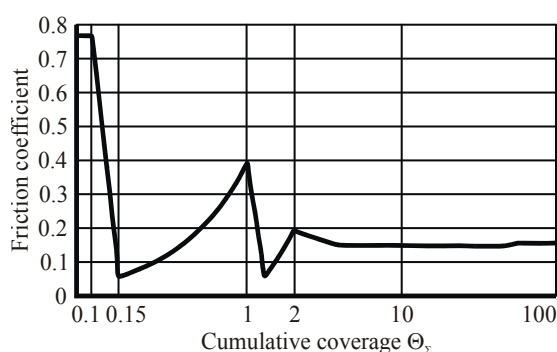


Рис. 1. Теоретическая зависимость коэффициента трения от коэффициента покрытия поверхностей сорбатом в паре трения Si – Si.

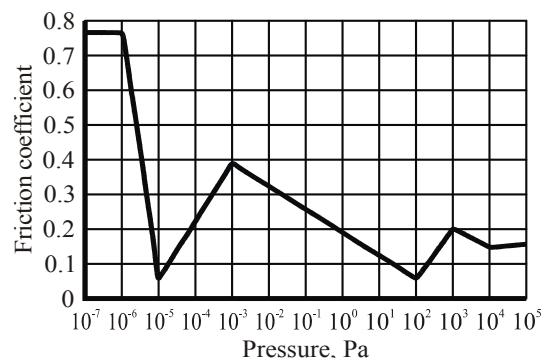


Рис. 2. Теоретическая зависимость коэффициента трения от остаточного давления в паре трения Si – Si

Экспериментальная зависимость коэффициента трения от коэффициента покрытия поверхности сорбатом и остаточного давления [4], представленная на рис. 3, хорошо отражает характер изменения теоретических кривых, представленных на рис.1 и рис.2, что позволяет проводить измерения коэффициента покрытия прямым методом.

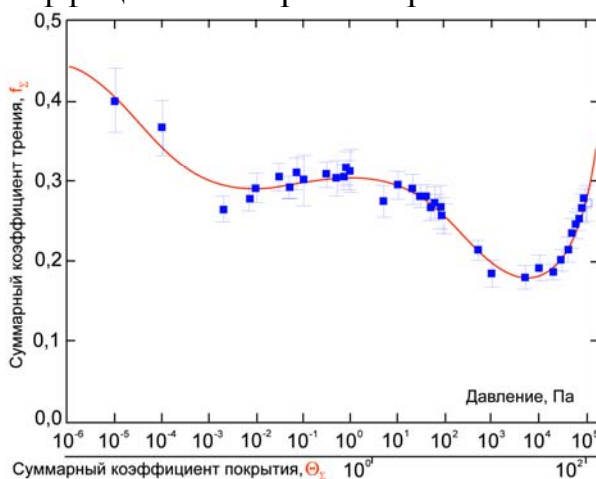


Рис. 3. Экспериментальная зависимость коэффициента трения от коэффициента покрытия поверхности сорбатом в паре трения Si – Si.

Методика проведения эксперимента

Задачей проводимых экспериментов было подтверждение справедливости представленных в теории «сухого трения» положений о функциональной связи коэффициента трения с коэффициентом покрытия, на которую, помимо остаточного давления (вакуума), влияют влажность и температура.

Исследования проводились на стенде, представленном на рис. 4, при температуре 22 °С и различных значениях влажности, которая регулировалась при помощи полиэтиленового колпака (рис. 5).

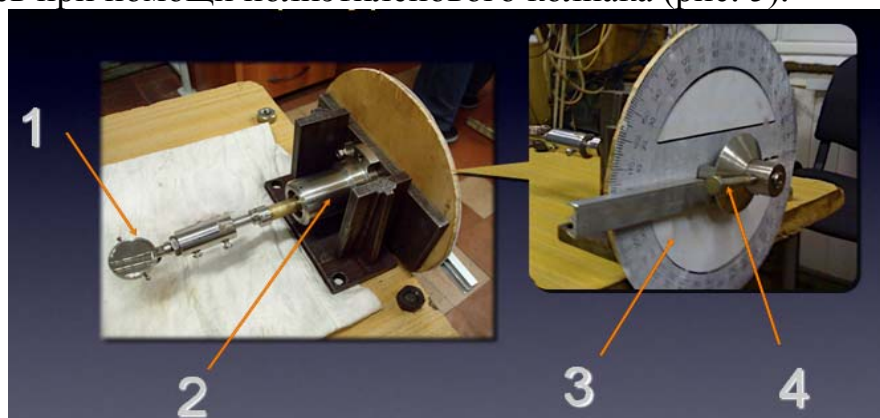


Рис. 4. Фотография экспериментального стенда

1 - кремниевая подложка, по которой должна скользить кремниевая пластинка; 2 - механизм передачи вращательного движения ; 3 - неподвижно закрепленный диск с градусной шкалой; 4 - стрелка-указатель

Для достоверности получаемых результатов было принято решение проводить эксперименты на образцах подобных тем, которые использовались

в [4]. В результате были выбраны плоские кремниевые пластины, поверхности которых перед проведением эксперимента протирались спиртом.

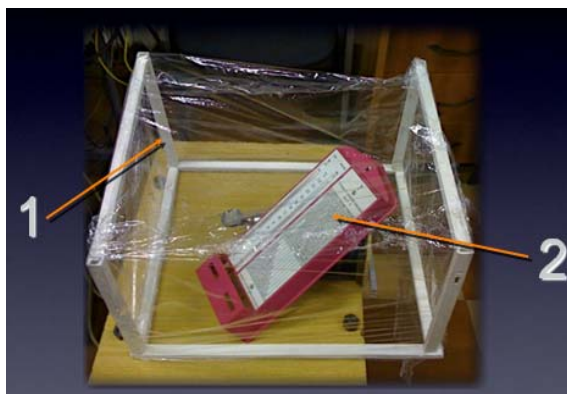


Рис. 5. Колпак на стенд, позволяющий проводить эксперименты с повышенной влажностью

1- каркас с полиэтиленовой пленкой, 2-психрометр для измерения влажности

Коэффициент трения также как и в [4] вычисляется по измеряемому углу наклона подложки по формуле:

$$f = \tan(\mu_i^j) \quad (1)$$

где: μ_i^j - угол трения при i -том замере в j -том эксперименте;

Измерения коэффициента трения были проведены при влажности воздуха $RH=30\%$, характерной для зимнего периода, и комнатной температуре $T=22\text{ }^{\circ}\text{C}$. На рис. 6 представлена гистограмма, отображающая распределение значений угла и коэффициента трения в зависимости от количества измерений, при которых кремниевая пластинка начинала движение по подложке.

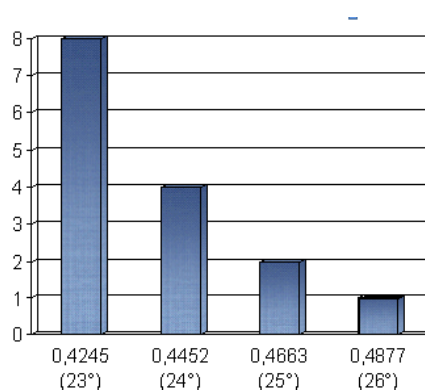


Рис. 6. Распределение количества повторов одинаковых значений коэффициента трения и угла поворота при $RH=30$ и $T=22\text{ }^{\circ}\text{C}$

Среднее значение коэффициента трения при комнатной температуре (22°C) и влажности (30%) составило $0,4398$, в переводе на градусную шкалу $23^{\circ}42'$.

Результаты экспериментов, проводившихся при повышенной влажности под полиэтиленовый колпаком, представлены на рис. 7.

Представленные на рис. 8 результаты пересчета влажности в коэффициент покрытия поверхностей сорбатом, можно заметить, что

характер изменения кривой аналогичен зависимостям, представленным на рис. 1 и рис. 3.

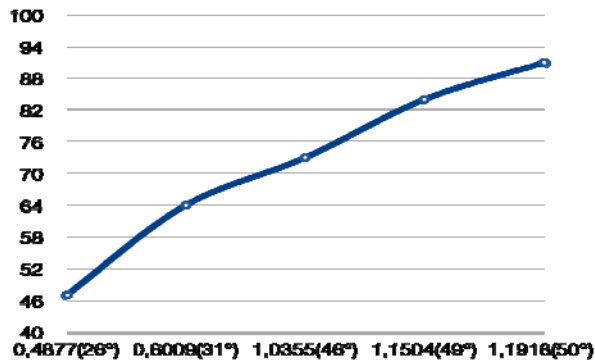


Рис. 7. Зависимость коэффициента трения от влажности.



Рис. 8. Зависимость коэффициента покрытия поверхности сорбатом от коэффициента трения при 22 С

Выводы

Проведенные эксперименты подтверждают теорию так называемого «сухого трения» и являются предпосылками для создания прибора, в основе которого лежат описываемые в работе [4] явления. Для внедрения прибора в массовое производство, т.е. выхода на рынок приборов для измерения вакуума, и создания совершенно нового рынка приборов для измерения коэффициента покрытия поверхностей сорбатом, необходимо накопление практических знаний о том, что происходит на поверхностях при «сухом трении». Это является основной целью проведения экспериментов. Предполагается, что следующим шагом будет проведение аналогичных экспериментов, но уже в вакуумной камере, где будет исследоваться зависимость коэффициента трения и коэффициента покрытия поверхностей сорбатом от остаточного давления в широком диапазоне давлений. Эксперименты в прогреваемой камере позволят исследовать эту зависимость от температуры среды. Эксперименты с датчиком (рис. 9), находящимся уже в производстве (рис. 10), позволят начать выход на рынок вакуумной техники.

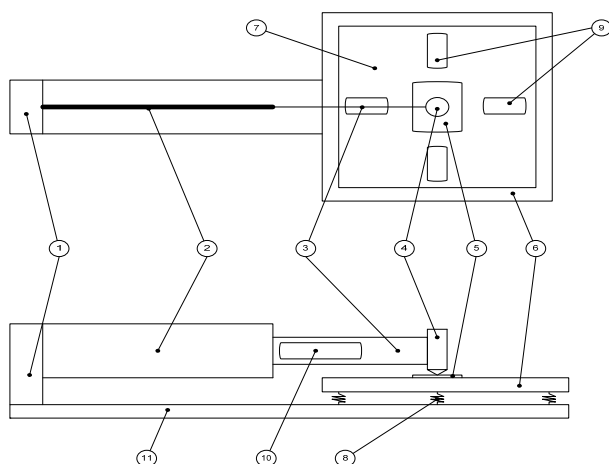


Рис. 9. Структурная схема датчика для измерения вакуума в сверхшироком диапазоне давлений и коэффициента покрытия поверхностей сорбатом.

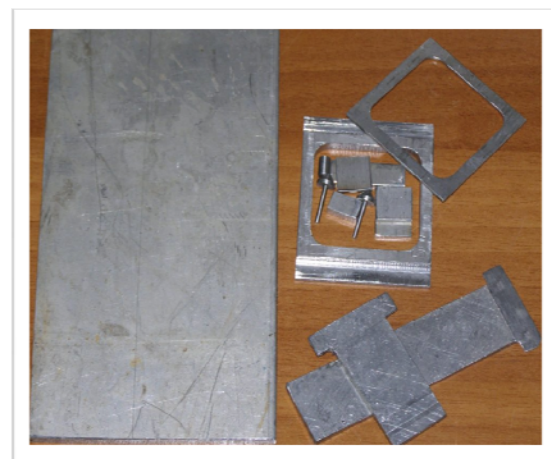


Рис. 10. Элементы датчика для измерения вакуума в сверхшироком диапазоне давлений и коэффициента покрытия поверхностей сорбатом.

Благодарности

Авторы благодарят Федеральное агентство по образованию РФ за поддержку проведенных работ, выполненных в соответствии с государственным контрактом на выполнение поисковых научно-исследовательских работ для государственных нужд П2421 от 19 ноября 2009 г. в рамках реализации федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Литература

1. Patent of RF № 2316744. Deulin, E.A. A method of vacuum measurement. Bull. Inv.-10.02, 2008.
2. Deulin, E.A. The Role of Adsorbed Water Film For Sliding Friction of Smooth and Rough Surfaces. in Tribology - Science and Application Conference. 2004. Vienna.
3. Deulin, E.A., et al. Effect of Gas Adsorption on Tribology of Ball Bearings in Vacuum. in 15th International Colloquium on Tribology "Automotive and Industrial Lubrication". 2006. Stuttgart, Ostfildern: Technische Akademie Esslingen.
4. Deulin, E.A., A.A. Gatsenko, and A.B. Loginov, Friction force of smooth surfaces of SiO₂-SiO₂ as a function of residual pressure. Surface Science, 1999. 433-435: p. 288-292.