

УДК 539.538, 621.89.017

ВАКУУМНЫЙ ТРИБОМЕТРИЧЕСКИЙ СТЕНД ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Виктор Евгеньевич Бражников ⁽¹⁾, Орхан Эльдар оглы Алиханов ⁽²⁾

*Студент 3 курса бакалавриата ⁽¹⁾, студент 3 курса бакалавриата ⁽²⁾
кафедры «Электронные технологии в машиностроении»,
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И.Беликов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в
машиностроении»*

Развитие и совершенствование технологий и устройств в таких областях, как атомная энергетика, космос и вакуумные установки являются актуальной задачей. В настоящее время эти области бурно развиваются, а возникающие в них проблемы зачастую требуют новых, нетрадиционных решений. В космических аппаратах, атомных реакторах и вакуумных технологических установках одним из проблемных мест являются узлы трения. Поскольку контактирующие поверхности узлов механизмов подобного оборудования функционируют в вакууме и в экстремальных условиях, в сфере трибологии появились задачи, решение которых невозможно осуществить с использованием традиционных материалов. Схожими экстремальными условиями работы механизмов в вышеперечисленных областях являются: вакуум, высокие температуры и радиоактивное излучение. В таких условиях обычные жидкие смазки испаряются, разрушаются, в материалах происходит разрыв химических связей, что приводит к схватыванию контактных поверхностей и, как следствие, к поломкам оборудования и авариям. Некоторые твердые смазки лишены этих недостатков и позволяют повысить долговечность и износостойкость трущихся элементов. Типичной антифрикционным материалом для отрасли космоса, атомной энергетике и вакуумного технологического оборудования является дисульфид молибдена (MoS_2). Он сохраняет свои функциональные характеристики при температурах до 400°C на воздухе, а в вакууме – до $600-700^\circ\text{C}$ [1], устойчив к воздействию радиации [2], что позволяет использовать его в узлах ядерных реакторов. Однако, требуется проведение испытаний и накопление новых данных о функционировании антифрикционных покрытий на основе дисульфида молибдена в экстремальных условиях, поскольку известны случаи отказов механизмов с твердыми смазками MoS_2 , например, возникший сбой при развертывании антенны космического аппарата Галилео [1].

В этой связи была поставлена задача разработки стенда для проведения трибологических испытаний в условиях высоких температур и вакуума с целью изучения характеристик работоспособности твердосмазочных покрытий MoS_2 , формируемых методом магнетронного распыления катодной мишени.

В результате анализа требований к условиям испытаний и рассмотрения различных вариантов технических решений была разработана конструкция измерительного модуля стенда с узлом подогрева образцов. Модуль обеспечивает нагрев образцов с покрытиями и проведение трибологических испытаний при возвратно-поступательном перемещении плоского образца относительно контртела-индентора (по схеме "pin-on-plate"). Трибометрический стенд включает вакуумную камеру (1), рисунок 1, с приводом возвратно-поступательного перемещения и системой

откачки. В камере располагаются: подложкодержатель (2) для размещения образцов с покрытиями (3), расположенный на движущемся возвратно-поступательном столике (4), и две стойки (5, 6) с закрепленными на них балками (7,8), к которым крепятся высокотемпературные тензодатчики. На одной балке (7), расположенной соосно с направлением движения столика, измеряются деформации растяжения-сжатия, на другой (8), перпендикулярной направлению движения столика, - деформации изгиба. Равновесие балок регулируется грузиками-противовесами (9,10) так, чтобы инденторы (11,12) располагались на образце (3). В системе предусмотрено вертикальное нагружение инденторов с помощью грузов (13,14), а измеренное с помощью тензодатчиков значение тангенциальной к индентору силы, возникающей от его трения по образцу, позволяет определить величину коэффициента трения. Нагрев образца осуществляется пальчиковыми ТЭНами (15), которые размещаются в отверстиях подложкодержателя (2). Между подложкодержателем и столиком расположены четыре керамических бруска (16) для теплоизоляции. Столик (4) перемещается по двум цилиндрическим направляющим (17), опираясь в трех точках на две бронзовые втулки (18) и пластину. Для передачи на столик возвратно-поступательного движения к нему крепится шток (19), расположенный на опоре (20). Основание (23) для всех опор конструкции размещается на вертикально установленных пластинах (22), закрепленных на нижнем фланце камеры (21).

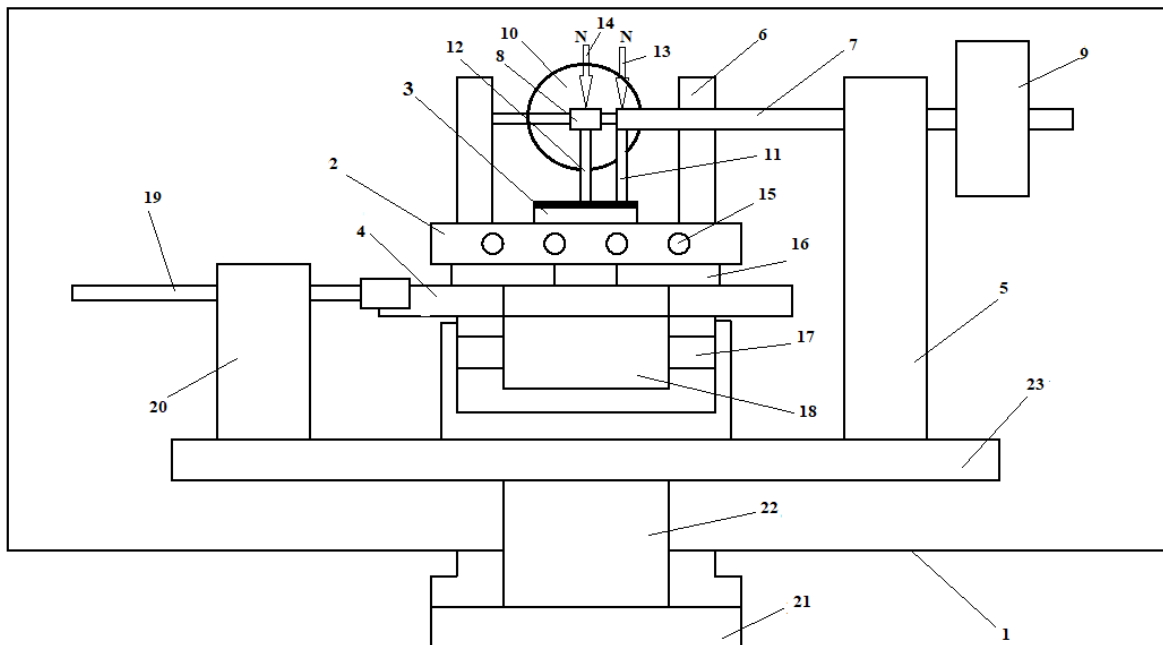


Рис.1. Принципиальная схема трибометрического стенда

В ходе разработки конструкции трибометрического стенда было предложено два варианта расположения стоек тензобалок, их уравнивание, предусмотрена нагревательная система для образцов с покрытиями, реализована система возвратно-поступательного движения предметного столика. Были предусмотрены и проработаны системы тепло- и виброизоляции. Особенностью предложенной конструкции стенда является возможность одновременного испытания двух образцов с покрытиями.

Литература

1. Vazirisereshk M. R., Martini, A., Strubbe, D. A., & Baykara, M. Z. (2019). Solid Lubrication with MoS₂: A Review. *Lubricants*, 7(7), 57. doi:10.3390/lubricants7070057, 5-7;

2. *Malcolm K. Stanford*, A Review of Tribomaterial Technology for Space Nuclear Power Systems, NASA/TM—2007-214490;