

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

УДК 621.893

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОАЛМАЗОВ  
В МАСЛЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА РАБОТЫ ТРИБОПАРЫ****Ю.А. ГАСС, Д.В. ЛОПАТИН***(Представлено: А.А. ГУЩА)*

**Введение.** Ресурс узлов трения машин в значительной степени определяется работоспособностью используемых смазочных материалов. Современное развитие техники связано с повышением скоростей и нагрузок в узлах трения, что в свою очередь обуславливает сложность решения проблемы обеспечения заданной долговечности трибосоприжения, заключающаяся в необходимости учета взаимозависимых параметров комплекса «технология – трибоузел – эксплуатация» [1].

Для улучшения эксплуатационных свойств поверхности трения необходимо дальнейшее повышение износостойкости сопряжённых поверхностей, что требует разработки новых смазочных материалов, обладающих повышенной нагрузочной способностью и обеспечивающих более низкую интенсивность изнашивания [2].

В последнее время получают все большее распространение попытки направленного улучшения свойств масел введением в их состав различных добавок. Использование добавок в маслах, и, прежде всего, совместное введение присадок и наполнителей, позволяет наиболее гибко регулировать структуру масел. Все большее научное и практическое значение приобретают работы по использованию в качестве твердых добавок различного рода наноразмерных компонентов. Их использование дает результаты нового качественного уровня по сравнению с применяемыми ранее добавками. И одним из перспективных направлений является трибомодифицирование наноразмерными алмазосодержащими добавками [3].

**Цель работы:** изучение влияния концентрации наноразмерных компонентов на степень износа трибопары при различных режимах работ.

**Основная часть.** В качестве основного масла использовалось базовое масло И20 (минеральное масло промышленного типа с кинематической вязкостью при 40 °С – 29–35 мм<sup>2</sup>/с).

Остальные виды масел получались добавлением нанокompозитов в состав масла И20 в количестве от 0,09% до 0,9%.

Как компонент масла нанокompозиты способствуют значительному уменьшению коэффициента трения и износа трущихся поверхностей. Нанокompозиты представляют собой детонационные наноалмазы размером 4–5 нм. Их свойства в суспензии позволяют образовывать множество микроскопических трибопленок на поверхностях трения. Микропленки из нанокompозитов значительно увеличивают срок действия и полезные свойства используемых смазочных материалов.

Исследования по выявлению зависимости концентрации наноалмазов от режима работы проводились по схеме трения «палец-диск». Индентор изготовлен из стали ШХ – 15 в форме стержня Ø3 x 15 мм, материал находился в отожжённом состоянии (режим термообработки: закалка – отжиг при температуре 700–720 °С; твердость образцов 25–27 HRC). В качестве контртела выбран диск Ø70 x 6 мм из закаленной стали ШХ – 15 (твердость 57–61 HRC).

Триботехнические испытания проводились на универсальной машине трения MODEL: MMW – 1А вертикального типа с компьютерным управлением. Данная модель позволяет поддерживать силу нагрузки постоянной с отклонением ±2Н. Относительная погрешность измерения силы трения не превышала ±2% при жидкостном режиме смазывания.

Перед проведением исследования для уменьшения шероховатости поверхности и, как следствие, повышения точности получаемых данных образцы подвергались шлифовке на наждачной бумаге с зернистостью Р600.

Основным режимом работы был принят режим со следующими параметрами:

- сила нагружения: 212 Н;
- удельная нагрузка: 10 МПа;
- скорость скольжения: 0,2 м/с;
- расстояние, пройденное образцами: 3000 м.

В процессе испытаний фиксировались значения величин силы трения и коэффициента трения с частотой один раз в 1 с в режиме реального времени с возможностью сохранения в файл. Полученные данные аккумулировались в графическом и текстовом виде и после аппроксимации подвергались анализу.

Для измерения величины износа был использован метод отпечатков. Суть данного метода заключается в измерении размера отпечатка до проведения испытания и после. После этого разность размеров пересчитывается на величину абсолютного износа. Размер отпечатков снимался каждую 1000 м.

Отпечатки (рис. 1) выполнялись на микротвердомере BUEHLER Model No 1105D для определения твёрдости по Викерсу при помощи индентора пирамидальной формы с противолежащим углом  $136^\circ$ .

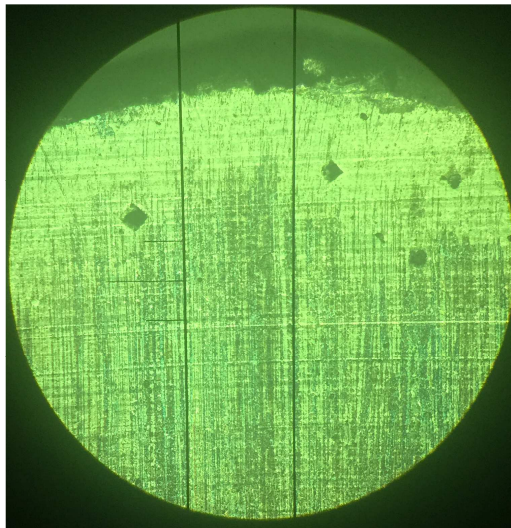


Рисунок 1. – Отпечатки на микротвердомере

Анализ полученных данных показал, что наиболее высокие смазывающие свойства при данном режиме работы проявляются у масел с содержанием наноалмазов 0,36–0,45%. При меньшей концентрации не достигается максимальный эффект, а увеличение процентного содержания не приводит к значительному снижению коэффициента трения.

В ходе испытаний также были рассмотрены следующие режимы работы:

1-ый:

- сила нагружения 636 Н;
- удельная нагрузка: 30 МПА;
- скорость скольжения: 0,5 м/с;
- расстояние, пройденное образцами: 3000 м.

2-ый:

- сила нагружения 636 Н;
- удельная нагрузка: 30 МПА;
- скорость скольжения: 0,1 м/с;
- расстояние, пройденное образцами: 3000 м.

При данных режимах работы невозможно было определить износ, т.к. после прохождения 2000 м отпечатки полностью стирались.

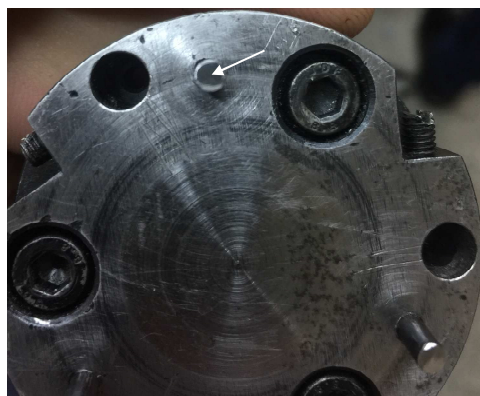


Рисунок 2. – Тёмные полосы износа на образцах

Кроме того, при основном режиме работы была выявлена зависимость характера трения от толщины масляного слоя. При недостаточной толщине на отпечатках образовывались тёмные полосы износа.

В зоне этих тёмных полос невозможно было определить размеры отпечатков, и как следствие узнать величину износа. Это, вероятно, связано с ухудшением подтекания смазочного состава в зону трибоконтакта и нарушением условий смазывания пары трения за счет вязкости смазочного материала, вследствие чего в центре контакта происходило сухое трение. Также такое явление наблюдалось при испытании масла с содержанием наноалмазов 0,09%. Причём, увеличение толщины масляного слоя не дало положительных результатов.

При основном исследуемом режиме работы диапазон оптимальной концентрации наноалмазов совпал с данными, полученными в [4] с удельным давлением 1 МПа. Это объясняется тем, что для исследования использовался ряд масел с разностью концентрации наноалмазов между последующими образцами на 0,09%. Полученные данные свидетельствуют о том, что оптимальная концентрация наноалмазов в жидкой смазке практически не зависит от режима работы трибопары.

**Заключение.** Испытание трибопары при различных режимах работы и в присутствии масла с различным содержанием наноалмазов показало, что оптимальная концентрация наноразмерных компонентов в масле практически не зависит от режима работы трибопары. Однако добавление наноалмазов в масла ограничено тем фактором, что при хранении они оседают на дне ёмкости из-за более низкой вязкости масла по сравнению с пластичными смазками, состав которых остаётся однородным на протяжении всего срока хранения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев, Л.Б. Системный анализ технологии формирования износостойких покрытий на поверхностях трения деталей / Л.Б. Леонтьев, А.Л. Леонтьев, В.Н. Макаров // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12 (часть 4). – 729–734 с.
2. Pešić, R. Methods of Tribological Improves and Testing of Piston Engines, Compressors and Pumps / R. Pešić, A. Davinić, S. Veinović // *Tribology in industry*. – 2005. – Vol. 27, № 1&2. – P. 38–47.
3. Масла и пластичные смазки на основе наноалмазов для снижения трения тяжело нагруженных узлов // Южно-Уральский инновационно-технологический центр [Электронный ресурс]. – 2009–2011. – Режим доступа: [http://suitc.ru/ru/inno/org/tech\\_profile/tech\\_offer/detail.php?ShowIBlock=21&ElementID=2629&ORG\\_ID=2627&CHILD\\_ID=2628](http://suitc.ru/ru/inno/org/tech_profile/tech_offer/detail.php?ShowIBlock=21&ElementID=2629&ORG_ID=2627&CHILD_ID=2628). – Дата доступа: 20.02.2019.
4. Дудан, А.В. Влияние концентрации наноразмерного компонента смазочного материала на свойства поверхности трения / А.В. Дудан, А.А. Гуца, Э.В. Колесов // *Инновационные технологии в машиностроении: материалы междунар. науч.-тех. конф., Новополоцк, 19-20 апр. 2018 г.* / Полоц. гос. ун-т; под. ред. чл.-корр., д-ра техн. наук, проф. В. К. Шелега; д-ра техн. наук, проф. Н. Н. Попок. – Новополоцк, 2018. – 192–194 с.