

¹В. Ф. Лабунец, канд. техн. наук, проф.,

¹В. Г. Лазарев, асп.,

²Е. В. Корбут, канд. техн. наук, доц.,

¹Т. С. Климова, доц.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАКТЕРИОГЕННЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

¹ Национальный авиационный университет

² Национальный технический университет Украины «КПИ»

В данной работе предпринята попытка исследовать влияние природных микроорганизмов и, в частности, эффект биоминерализации на процессы трения и изнашивания. В свете триботехники рассматриваются перспективы микробной биотехнологии как метода улучшения эксплуатационных характеристик материалов узлов трения и, в частности, использование бактериогенных продуктов как средства повышения износостойкости, прирабатываемости и структурной приспособляемости деталей узлов трения.

Введение. Явление трибосинтеза, формирование вторичных структур на поверхностях трения сегодня зачастую рассматривается как одно из необходимых условий нормального функционирования трибосопряжений. Создание новых материалов, развитие экологических технологий и технологий энергосбережения предполагают новые возможности для биологических технологий в триботехнике.

Анализ литературных источников. В работе [1] мы уже начинали рассматривать бактериогенные продукты как перспективные материалы для повышения эксплуатационных характеристик узлов трения. Были сделаны выводы о том, что вещества (органические и неорганические), осаждаемые некоторыми микроорганизмами как внутри микробной клетки, так и вне ее – в составе биопленки могут использоваться для повышения прирабатываемости и структурной приспособляемости в узлах трения.

Микроорганизмы цикла серы хорошо изучены (отчасти поэтому они и были выбраны в качестве модельных объектов), с точ-

ки зрения исследователей микробной коррозии [4], являются одним из факторов ее возникновения. В частности, *Desulfovibrio Desulfuricans*, минерализующий в своей биопленке сульфиды, известен как один из возбудителей микробной коррозии. В живой биопленке этого микроорганизма происходит трансформация сульфидов – сульфидизация – переход от железа к серообогатым формам: FeS (через несколько промежуточных форм) преобразуется в FeS₂ [5]. Подтвердить предположения, что иммобилизованное биопленкой вещество, содержащее фосфор и серу, может при введении в узел трения облегчать процесс прирабатывания поверхностей, способствовать снижению адгезии, противостоять схватыванию и участвовать в формировании вторичных структур трения [6; 7] было целью данной работы. В задачи исследования входили исследования состава и структуры вещества микробной биопленки, получение препаратов, пригодных к использованию в узлах трения; механические испытания, анализ полученных результатов.

Материалы и методы исследования. В эксперименте использовали следующие материалы: детонационное покрытие на стали 45 – оксидная керамика Al₂O₃–Cr₂O₃–TiO₂, толщина 300 мкм. Образцы покрытия наносили на наружную цилиндрическую поверхность коле с наружным диаметром 50 мм – стандартные образцы для испытаний на машине типа 2070 СМТ-1.

В качестве контртел использовали кольца 50 мм из закаленной стали 45.

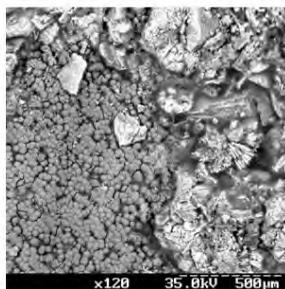


Рис. 1. Биоплёнка *Desulfovibrio Desulfuricans* на поверхности стали содержит железо, серу, фосфор и кальций

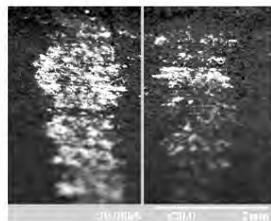


Рис. 2. Пятна износа на образце после испытаний. Слева – в масле MC20, справа – MC20 с добавкой бактериогенного модификатора. Слева более заметно намазывание стали на покрытие

Трибоиспытания проводили на машине СМТ-1 по схеме диск–диск в условиях чистого скольжения в диапазоне скоростей 0,4, 0,8, 1, 1,5 м/с и нагрузок: 100, 200, 300, 350, 400 и 1000 Н.

Препарат биопленки *D. Desulfuricans* использовали в качестве добавки (после термообработки) к смазочному материалу. Смазочный материал – МС-20. В препарате биопленки рентгеноспектральный анализ показал наличие железа, фосфора, серы и, в колониях – кальция. Содержание в смазочных материалах серы и ее соединений может, однако, повышать коррозионность масла. Наличие в среде живых микроорганизмов наряду с анаэробными условиями и некоторым количеством воды могло бы повлечь за собой неконтролируемый процесс биокоррозии. Поэтому используемый в данной работе препарат микробной биопленки подвергался термообработке – автоклавированию и высушиванию при 100 °С.

Биопленку *D. Desulfuricans* получали в анаэробных условиях во флаконах 400 мл на среде Бейеринка в присутствии субстрата – пластинок из низкоуглеродистой стали (20 см² на флакон). Поверхность стальных пластинок субстрата, стенки и дно флаконов с 30-суточной культурой *D. Desulfuricans* были покрыты биопленкой, которую собирали, дезинтегрировали и стерилизовали. Высушенный препарат биопленки в виде мелкодисперсного порошка вводили в смазочный материал МС-20. Анализ энергодисперсионным рентгеновским спектрометром показал в составе МС-20 после добавления препарата биопленки: 8 % фосфора, 12,8 % серы, 1,2 % хлора, 27 % кальция и 51 % железа.

При осмотре и фотосъемке образцов во время испытаний использовали микроскоп МБС-10.

Электронно-микроскопические исследования и микрорентгеноспектральный анализ образцов после механических испытаний проводили с помощью электронных микроскопов-микроанализаторов РЭММА-102-02 и РЭМ-106-И.

В одной серии экспериментов проводили испытания в паре сталь–керамика без смазочных материалов. В других случаях для пары сталь–керамика проводили трибоиспытания с применением жидкого смазочного материала: МС-20 и материала МС-20, содержащего 5 % присадки – стерилизованный препарат биопленки *Desulfovibrio Desulfuricans*.

Результаты и обсуждение. В ходе испытаний наблюдалось стабильное поведение коэффициента трения во всех случаях. При этом после добавления препарата биопленки в смазку заметно снизился коэффициент трения. Испытания без смазки в случае с сухим трением мы, конечно же, наблюдали величины коэффициента трения, износа образца и температуры в зоне контакта заведомо существенно большие, чем при испытаниях со смазкой. Поэтому больше внимания мы уделяем результатам испытаний с применением смазочных материалов.

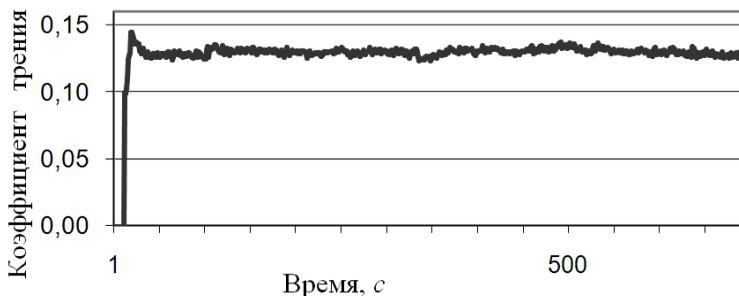


Рис. 3. Кривая коэффициента трения. Нагрузка – 1000 Н, скорость – 0,8 м/с, путь – 500 м, смазка – МС-20

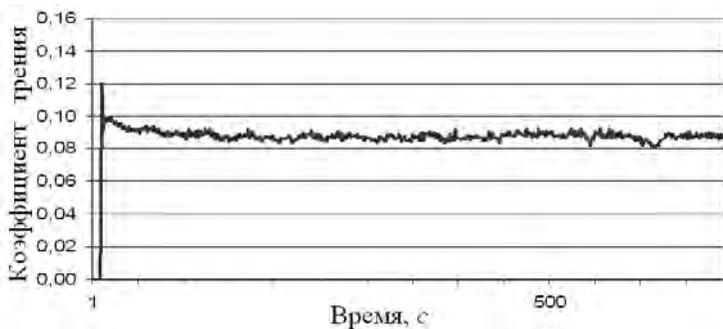


Рис. 4. Кривая коэффициента трения. Нагрузка – 1000 Н, скорость – 0,8 м/с, путь – 500 м, смазка – МС-20 с добавкой *D.desulfuricans*

Электронно-микроскопические исследования показали, что в условиях сухого трения материал контртела намазывается на поверхность твердого покрытия, образуя в некоторых случаях почти сплошной слой (рисунку 5, 6). При смазывании МС-20 (рис. 7) также наблюдались явления схватывания и намазывания стали,

фрагменты контртела часто заполняли поры в поверхности керамики. После добавления препарата *D. Desulfuricans* в смазку существенно уменьшился объем материала контртела, переносимого на образец (рисунку 2, 7). Рентгеновский микроанализ показал в составе поверхности (растр, рис. 8) 0,2 % фосфора, 0,3 % серы и всего 5,2 % железа. Тогда как в составе поверхности образца, испытывавшегося со смазкой МС-20 без добавок (растр, рис. 7), железа обнаруживается более 23 %, фосфор не обнаружен, а также присутствуют по 0,2 % серы и хлора.

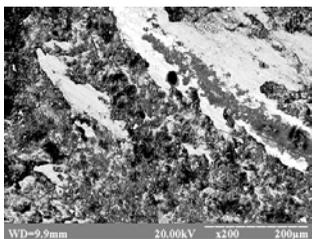


Рис. 5. Поверхность трения после испытаний без смазки

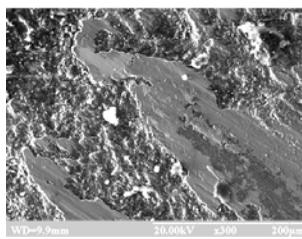


Рис. 6. Поверхность трения после испытаний без смазки

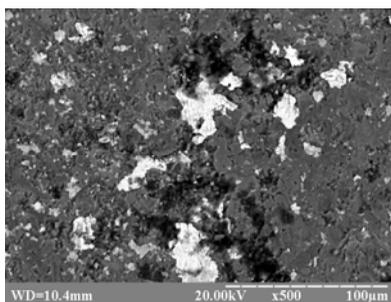


Рис. 7. Поверхность трения керамического покрытия после испытаний со смазкой МС-20. Частицы стального контртела забились в поры покрытия

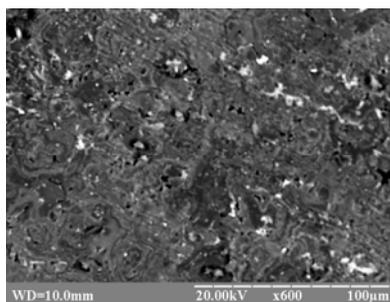


Рис. 8. Поверхность трения керамического покрытия после испытаний со смазкой МС-20 содержащей 5 % препарата биоплёнки

Выводы. Испытания антифрикционных бактериогенных добавок к смазочному материалу продемонстрировали некоторый положительный эффект таких добавок на процессы прирабатываемости и структурной приспособляемости деталей узлов трения. Присадка не оказала деструктивного действия на детонационное

оксидное покрытие, материал контртела – сталь – при использовании присадки также оказался менее подвержен изнашиванию.

Список литературы

1. *Забезпечення* структурної пристосовуваності і сумісності пар тертя біологічними модифікаторами / А. П. Кудрін, В.Ф. Лабунець, В.Г. Лазарев // Вестник НАУ. – К.: НАУ, 2006. – № 1. – С. 127–132.

2. *Інтенсивність* корозійного відгуку маловуглецевої сталі в залежності від архітектоніки біоплівки / А. І. Піляшенко-Новохатний, М. О. Протасова, А. М. Андреева та ін. // Фізико-хімічна механіка матеріалів, спец. випуск №5 Проблеми корозії та протикорозійного захисту металів. – Львів, 2006: – С.906– 910.

3. *Дослідження* структури біоплівок, сформованих бактеріями циклу сірки на металевих матрицях / М. О. Протасова, В. Г. Лазарев, І. П. Козлова // Микробиологический журнал. – К, 2006, –Т.68, № 5. – С. 80–86.

4. *Андреюк Е. И.* Микробная коррозия и ее возбудители / Е. И. Андреюк, В. И.Билай, Э. З.Коваль, И. А.Козлова. – К.: Наук. думка, 1980. – 288 с.

5. *Андреюк К. І.* Мікробна корозія підземних споруд / К.І.Андреюк, І.П.Козлова, Ж.П.Коптева та ін. –К.: Наук. думка, 2005. – 260 с.

6. *Лабунец В. Ф.* Проблемные вопросы трения и изнашивания и перспективы их решений // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2006. –Вип. 46. – С.5–28.

7. *Лазарев В. Г.* Применение бактериогенных продуктов в триботехнике // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 47. –С. 105–111.

Стаття надійшла до редакції 01.04.09.