

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЙ СПЛАВ ЖЕЛЕЗО – НИКЕЛЬ СО СВОЙСТВАМИ САМОСМАЗЫВАНИЯ И ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТОЙКОСТИ ГРАНИЧНЫХ ТЕРМОГЕНЕРИРУЮЩИХСЯ СЛОЕВ ПЛЕНКИ КАПРОЛАКТАМА

СТОЙЧЕВ П.¹, ТОПАЛА П.², УНГУРЯНУ Е.², ТРИФАН Н.¹, РОШКОВАН Г.¹, БЕШЛИУ В.²

¹ Технический Университет Молдовы,
² Госуниверситет «А. Руссо» Бельцы

Summary: The paper presents results of a study the temperature resistance of the film hydro caprolactam liberated from the iron-nickel coatings at their friction on the alloy cast iron and developed a physical model of self-lubrication of the frictional contact.

Key words: resistance, caprolactam, iron-nickel, friction.

ВВЕДЕНИЕ

За последние три десятилетия наука о трении и износе трущихся поверхностей деталей машин (трибология) развивается быстрыми темпами, что связано, прежде всего, с использованием в ней принципов самоорганизации [1, 6, 7, 8, 12]. В связи с этим, трибология переживает качественно новый этап своего развития, выдвинув на первое место синергетические аспекты формирования и изнашивания поверхностного слоя деталей.

С каждым годом требования к ресурсам работы машин становятся все более жесткими. Поэтому, у исследователей возрастает интерес к изысканию таких материалов и режимов работы сопряжений, которые обеспечивали бы наилучшие антифрикционные свойства, наиболее низкий коэффициент трения, предотвращения схватывания и заедания при разрушении смазочного слоя, разделяющего поверхности трения [1].

В то же время, известно, что совместимость материалов пар трения для предотвращения схватывания, оценивается предельно допустимыми нагрузочными и температурными параметрами, при которых наступает задира, а физические аспекты совместимости определяются свойствами поверхностных слоев. И как показано в работе [2], оценка совместимости материалов непосредственно при изнашивании имеет важное значение для разработки способов (методов) управления физико-химическими процессами на поверхности трения.

Для решения проблемы повышения эксплуатационного ресурса узлов трения машин и механизмов в настоящее время наметились следующие основные тенденции:

- 1) создание новых материалов с заданными фрикционными свойствами;
- 2) разработка методов управления поверхностными свойствами контактирующих материалов;
- 3) получение принципиально новых конструктивных решений узлов трения [3, 4].

Все эти тенденции целиком и полностью можно отнести и к восстановлению изношенных поверхностей трения любых деталей машин.

Опасность проявления схватывания металлов при трении, вызванных этими нежелательными последствиями, может быть уменьшена конструктивными мерами, а также воздействием на материалы трущихся деталей и среду, в которой эти детали работают. Решение этой проблемы сводится к устранению или сведению к минимуму непосредственного контакта металлических поверхностей трущихся деталей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Однако хорошо известно [5], что полностью исключить касание поверхностей в начальный период (особенно при запуске) и в процессе нормальной работы практически невозможно, и поэтому опасность проявления схватывания при вынужденных касаниях восстановленных поверхностей стараются свести к минимуму выбором материалов покрытий и ВВЕДЕНИЕМ в

смазку активных компонентов, образующих прочные адсорбированные и хемосорбированные защитные пленку. С этой точки зрения представляют интерес электролитические покрытия *Fe - Ni* со свойствами самосмазывания, полученные из разработанного и патентованного нами электролита [10], содержащего в своем составе капролактама до (5 г/л).

При увеличении температуры в зоне контакта на несущую способность граничных смазочных слоев, могут оказывать влияние такие факторы, как способность взаимодействующих поверхностей к схватыванию, способность поверхностей трения к пластическому деформированию (в этом случае большое значение имеет твердость металлов), прочность адгезионных связей смазочной пленки с поверхностью и, что очень важно - способность этих связей восстанавливаться при разрыве. Последнее, натолкнуло нас на мысль о проведении специальных исследований по выявлению «чистого» влияния капролактама (в составе покрытий) на несущую способность формирующихся тонких самогенерирующихся пленок (состав которых нами пока не исследовался) под воздействием температурного градиента в отсутствие внешней смазки, то есть «всухую».

Для проведения этих исследований нами использована та же методика определения температурной стойкости [6] с использованием схемы трения «конус - кольцевой образец» [7] при измененной схеме нагружения пары трения и схемы автоматической регистрации момента трения и температуры в зоне контакта (рис. 1) [8].

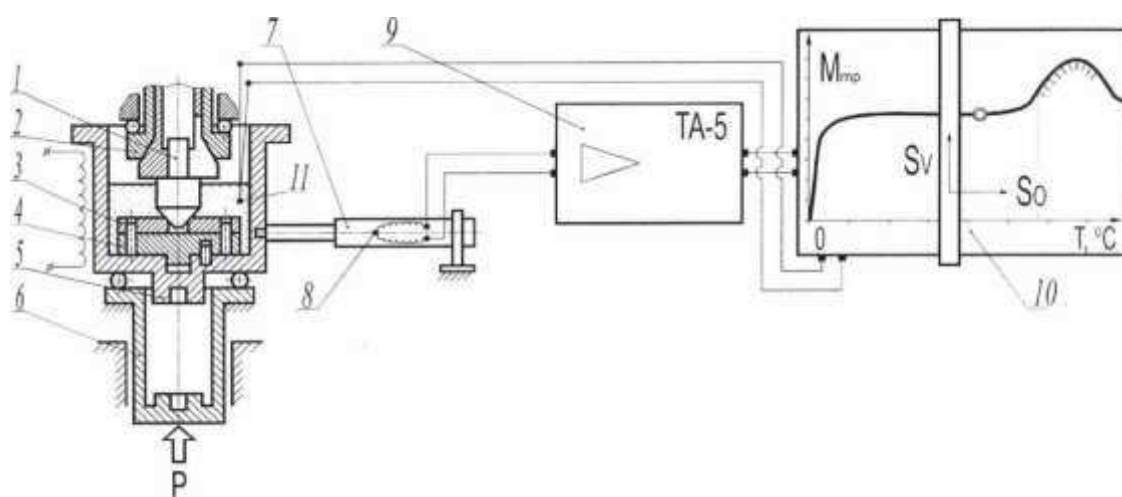


Рис. 1. Модернизированная схема нагружения пары трения «конус - кольцевой образец» с автоматической (непрерывной) регистрации момента трения ($M_{тр}$) и температуры в зоне контакта: 1 - конусный образец; 2 - шпиндель; 3 – контртело кольцевой образец; 4 - суппорт; 5 – чашка со смазочной средой; 6 – стакан нагружения; 7 – эластическая пластина; 8 – тензометрический мост; 9 – усилитель тензометрический ТА - 5; 10 – двухкоординатный потенциометр ПДС - 021; 11- термопара Хр - Коп.

Для определения температуры в зоне контакта при трении «всухую», в нижнем (кольцевом) образце высверливалось отверстие диаметром 2 мм на расстоянии 0,2 мм от поверхности трения и устанавливалась «хромель-копелевая» термопара, которая подсоединялась к двухкоординатному потенциометру ПДС-021 через усилитель ТА – 5, который регистрировал на планшете диаграмму $M_{тр} = f(T_{тр})$. Сравнительные испытания проводились для «чистого» сплава *Fe - Ni* и сплава с содержанием капролактама при трении по легированному чугуноу, так как он используется в качестве материала для поршневых колец. Удельное давление в контакте было постоянным (0,75 МПа).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Исследованиями установлено, что при «сухом» трении «чистого» электролитического сплава $Fe - Ni$ по легированному чугуно (рис. 1, кривые 1 и 1') в начальный период ($t=5,0$ сек) коэффициент трения возрастает незначительно в сопровождении более резкого возрастания температуры от 293 до 313 К. В дальнейшем температура стабилизировалась в течении 30 сек, после чего стало резко возрастать в сопровождении скачкообразного скольжения (рис. 2, кривая 1).

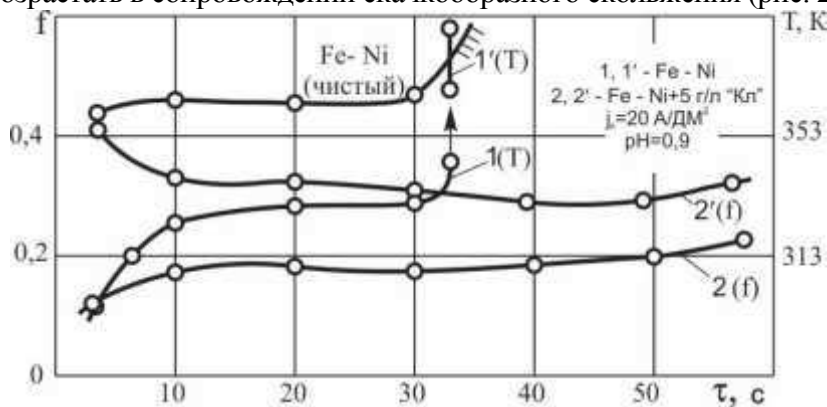


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения (1, 2) при трении в «сухую» «чистого» железо – никелевого сплава и, сплава $Fe - Ni$ с содержанием капролактама [1', 2'].

В этом случае стабилизация коэффициента трения ($f_{тр} = 0,25$) и температуры ($T = 329$ К) объясняется, видимо, тем, что в месте соприкосновения несмазанных поверхностей при трении образуется некоторое физическое тело с особыми свойствами [9] то есть, в пределах 30 сек этот процесс описывается структурной приспособляемостью поверхности в процессе трения. Дальнейшее трение поверхностей приводит к повышению температуры и при определенной ее величине, характерной только для этой пары, приводит к термодиструкции окисной пленки на поверхностях трения, а следовательно и к их схватыванию.

При трении без смазки очень гладкие и пологие неровности при внедрении образуют большую фактическую площадь касания, которые приводят к значительному сдвиговому сопротивлению за счет «пленочного голодания» в результате чего, коэффициент трения достигает больших значений. Кроме того, самонагрев поверхностей трения приводит к разрушению окисной пленки и наступает «чистый» металлический контакт, который приводит к заеданию.

Эта картина резко изменилась при добавлении в электролит 5 г/л капролактама (рис. 2, кривая 2'). В начальный период работы пар (до 10 сек.) наблюдается спад коэффициента трения, который, по нашему мнению, обусловлен возрастанием температуры в зоне контакта до 313 К.

По видимому, этот эффект объясняется тиксотропным (свойством) подплавлением капролактама и выходом его на поверхности трения, который, служа дополнительной жидкой смазкой, резко облегчает режим трения. И как показали эксперименты, при этом удельном давлении (0,75 МПа) в течении опыта, величина коэффициента трения стабилизировалась и достигала 0,28. Критической температуры, при этом, не обнаружено (рис. 2, кривая 2').

Таким образом, на этом этапе можно предполагать, что покрытия с содержанием капролактама обладают эффектом самосмазывания в начальный период работы пары трения « $Fe - Ni$ - легированный чугун». На наш взгляд этот эффект может быть успешно применен при восстановлении гильз цилиндров ДВС $Fe - Ni$ покрытиями с содержанием капролактама, работающие в паре с поршневыми кольцами из легированного чугуна, так как в начальный период запуска холодного двигателя (особенно в зимних условиях) моторное масло очень густое и в течении нескольких секунд не успевает подаваться в зону трения, из-за чего происходит интенсивный износ пар трения. В этом случае используя покрытия $Fe - Ni$ с содержанием в них капролактамом, проявит себя вышеописанный эффект, который практически исключит «сухое» трение. Однако, небезинтересно при каких удельных давлениях и температурах в зоне контакта наступит критическое состояние смазочной пленки

капролактама. Для этого нами проведена специальная серия опытов по определению этой характеристики.

Так, при «сухом» трении «чистого» железо-никелевого сплава по легированному чугуно обнаружено, что уже при $P = 0,75$ МПа прерывистое скольжение наступало при температуре в контакте 295 К (рис. 3, кривая 1). При изменении нагрузки в контакте для железо-никелевых покрытий с содержанием капролактама 5 г/л (что соответствует 4,65 % капролактама в сплаве) [8], при трении по легированному чугуно обнаружены и критические температуры (рис. 3 кривые 4 - 5).

При нагрузке в контакте 0,25 и 0,75 МПа критические температуры не выявлены, что, вероятно, связано с ещё сохранившейся несущей способностью выделяющегося из покрытия самосмазывающего слоя капролактама (рис. 3, кривые 2 и 3). Однако, при нагрузке 1,0 и 1,5 МПа выявлены критические температуры (соответственно, 448 К и 393 К), при которых наступает нарушение сплошности термогенерирующейся пленки капролактама в зоне контакта. Из вышеизложенного вытекает, что использование «железо-никелевого» покрытия с содержанием капролактама при «сухом» трении возможно для тех пар трения, в которых удельные давления не превышают 1,0 - 1,5 МПа.

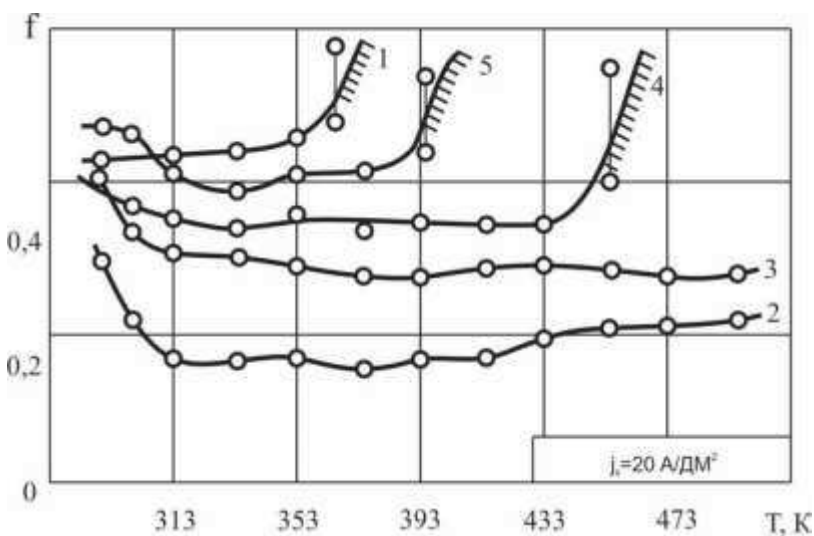


Рис. 3. Влияние нагрузки (P) и температуры в зоне контакта при «сухом» трении «чистого» железо-никелевого покрытия (1) и покрытия $Fe - Ni + 5$ г/л капролактама по легированному чугуно (1, 3- при $P = 0,75$ МПа; 2 - $P = 0,25$; 4 - $P = 1,0$; 5 - $P = 1,5$).

содержанием капролактама (рис. 4): под воздействием температурного градиента T (I позиция), направленного в тело железо-никелевого покрытия, капролактама, находящийся в сложной химической связи с ионами железа и никеля (или их комплексов), термодеструктурируется, отделяется от них и по имеющимся трещинам в покрытиях выходит на поверхность трения, заполняет их микро неровности и разделяет их друг от друга (позиция II).

Эта версия нами принята по аналогии с выводами, сделанными в работе [10], где показано, что микроканалы, нанесенные искусственно на поверхности скользящего вала благоприятно влияют на несущую способность масляного слоя. В нашем случае, под воздействием температуры трения в микроконтактах, через микроканалы (трещины) в покрытиях термогенерируется смазочный слой капролактама, который в результате движения контртела «всасывается» между микронеровностями трущихся тел и разделяет их, тем самым улучшая антифрикционные свойства пар трения (рис. 4 позиция II).

До температуры в зоне контакта 348 К самосмазывающий слой капролактама сохраняет свою несущую способность ($P=1,0...1,5$ МПа). Дальнейшее повышение давления приводит к

Проведенные нами исследования позволяют сделать вывод о том, что железо-никелевые покрытия с содержанием капролактама при трении по легированному чугуно предотвращают схватывание трущихся пар, особенно в начальный период их запуска или остановки и могут быть успешно использованы и для восстановления изношенных деталей машин.

Исходя из вышеизложенного, нами было предложена следующую физическую модель фрикционного контакта при «сухом» трении, используя железо-никелевые покрытия с

разрушению этой пленки и происходит металлический контакт. Об этом свидетельствуют экспериментальные данные, отраженные на рис. 3.

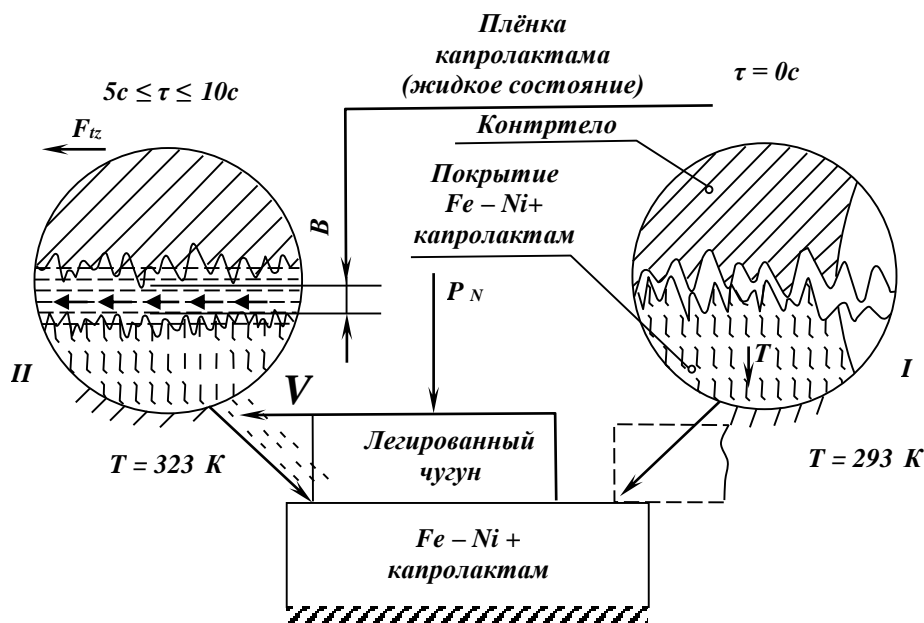


Рис. 4 Предполагаемая физическая модель самосмазывающегося фрикционного контакта термогенерирующей пленкой капролактама. (I - начало процесса; II - процесс через 5 ... 10 сек).

ВЫВОДЫ

1. Показана возможность использования температурного метода оценки критических температур граничных смазочных слоев в парах трения на машине МАСТ -1 с использованием нанесения гальванических износостойких покрытий на изношенные детали машин.

2. Усовершенствована методика определения температурной стойкости смазочных слоев при трении гальванопокрытий, за счет изменения схемы записи момента трения в трибологической паре «конус-кольцевой образец» и температуры смазываемой среды, позволившая непрерывно регистрировать момент трения в трущихся парах при **плавном изменении температуры в зоне контакта**.

3. Установлена возможность нанесения электролитических железо-никелевых покрытий со свойствами самосмазывания на основе капролактама, и экспериментально показана возможность улучшения их антифрикционных свойств за счет термогенерирования смазочной пленки капролактама, **которая, благодаря ее тиксотропным свойствам** в результате движения контртела, «**всасывается**» между микронеровностями трущихся тел и разделяет их, тем самым улучшая их антифрикционные свойства.

4. Использование модернизированной схемы записи $M_{mp} = f(T_{mp})$ позволило сократить время проведения экспериментов в 5-6 раз.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Крагельский И. В. Фрикционное взаимодействие твердых тел. Трение и износ. Т. 1, N 1, 1980, с. 12-29.
2. Сорокин Г. М., Ковальский Б. И. Оценка совместимости материалов пар трения электрическим методом. Трение и износ. Т. УП, N 2, 1986, с. 234-238.
3. Трение и износ материалов на основе полимеров /В. А. Белый, А. И. Свириденюк, М. И. Петроковец, В. Г. Савкин. - Минск: Наука и техника, 1976. 432 с.
4. Свириденюк А. И., Савкин В. Г. Структурная трибомеханика материалов на основе полимеров. Трение и износ, т. 1, N 1, 1980, с. 150-167.
5. Семенов А. П. Схватывание металлов и методы его предотвращения при трении- Трение и износ, 1980, т. 1, N 2, с. 236-247.

6. Матвеевский Р. М. Температурная стойкость граничных смазочных слоев и твердость смазочных покрытий при трении металлов и сплавов. М.: Наука, 1971, с. 75.
7. Гологан В. Ф., Аждер В. В., Жавгуряну В.Н. Повышение долговечности деталей машин износостойкими покрытиями. Кишинев: Штиинца, 1979, 110 с.
8. Stoicev P. Durificarea și recondiționarea organelor de mașini cu acoperiri electrolitice rezistente la uzură. Teza de doctor habilitat în tehnică., UTM, Chișinău 2001, 380 p.
9. Крагельский И. В. О трении несмазанных поверхностей.-В кн. Всесоюзн. Конф. По трению и износу в машиностроении. М.: Изд-во АН СССР, 1939, т. 1. с. 543-561.
10. Снеговский Ф. П., Булюк Н. Г. Исследование смазки подшипников скольжения с микроканалами на валах. Трение и износ, 1982, т. VI, N 2. с. 322-329.
11. Патент N 179063. Электролит для осаждения сплава железо-никель. / Калмуцкий В. С., Рошкован Г. В., Стойчев П. Н., Жавгуряну В. Н./ Оpubл. в. БИ N 3, 1993.
12. Бугенко В. И. Износ деталей трибосистем. Изд. Т.Г.Р.У., 2002, 235 с.