

**О ВЛИЯНИИ СВОЙСТВ «ТРЕТЬЕГО ТЕЛА» В СИСТЕМАХ ПКМ – ПКМ
НА ИХ ТРИБОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ**

© 2003 г. Р.А. БЫЧКОВ, Н.Г. БОРОЗДИНА, П.А. ЧУКАЛОВСКИЙ*, Т.П. ГАМИЛОВА**

Московская государственная академия приборостроения и информатики,
*ООО «ОВЕНИТ», г. Москва,

**Московский государственный институт электроники и математики

Трение двух материалов практически никогда не происходит без участия третьего компонента – либо плёнки оксидов, если эти материалы являются металлами, всегда – адсорбированной на поверхности материала водяной плёнки. Оксидные плёнки толщиной $10...15 \text{ \AA}$ на металлических поверхностях образуются практически мгновенно [1]. На поверхности оксидной плёнки адсорбируются молекулы газообразных веществ и воды. Эти слои образуются во всех случаях, когда металл соприкасается со средой, содержащей водяные пары [2]. Такая слоистая структура поверхности оказывает влияние на адсорбционные слои полярных и неполярных молекул органических веществ – смазок.

При трении полимерных материалов по металлической поверхности помимо указанных выше процессов накладываются ещё и явления фрикционного переноса продуктов износа и деструкции полимерного материала.

Деструкция полимерного материала происходит как в результате механохимических реакций, так и в результате термо-окислительных процессов при триборазогреве, достигающем на так называемых «температурных вспышках» сотен градусов. Известно, что в отверждённой фенолоформальдегидной смоле уже при $140-150 \text{ }^\circ\text{C}$ протекают окислительно-восстановительные и другие реакции с образованием группировок трифенилметанового ряда [3].

При температуре выше $300 \text{ }^\circ\text{C}$ в продуктах термического и термоокислительного разложения фенолоформальдегидной смолы обнаруживается смесь разнообразных фенолов: фенол, *o*- и *p*-крезолы, 2,4- и 2,6-ксиленолы, 2,4,6-триметилфенол, бензол, толуол, *o*- и *m*-ксилолы и др. [4]. Эти продукты сами по себе могут являться смазками. Благодаря наблюдениям Г. Германса и Т. Игена, обнаружившим в 1958 г. образование высокомолекулярных продуктов при трении в углеводородной среде [5], появилось научное направление в триботехнике, заключающееся в создании «полимеров трения» из веществ, входящих в смазку. Нельзя исключить синтез из образующихся ароматических продуктов деструкции фенолоформальдегидной смолы новых «полимеров трения», обеспечивающих износостойкость фрикционной пары (самоорганизующаяся система).

Целью данной работы было изучение роли разнообразных продуктов фрикционного переноса на процесс трения. Для упрощения трибосистемы, ликвидации влияния металлооксидных слоёв, в качестве объектов исследования были использованы полимерные композиционные материалы (ПКМ) различного состава. ПКМ представляли собой материалы на основе фенолоформальдегидной смолы, армированные тканью из термостойкого высокомолекулярного полиоксадиазольного волокна «оксалон», полученные методом горячего прессования. Часть образцов дополнительно содержала добавку технического углерода.

Композиция № 1 содержала 52,5 об.% ФФС, 47,5 об.% ткани «оксалон».

Композиция № 2 содержала 52,0 об.% ФФС, 47,0 об.% ткани «оксалон» и 0,92 об.% технического углерода.

Трибологические испытания проводили на машине МИ – 2, представляющей собой аналог прибора Грассели. Скорость трения составляла 0,278 м/с. Одновременно с измерением силы трения определяли температуру триборазогрева образцов. Для этого в образцах были просверлены отверстия на различном расстоянии от поверхности трения, в которые помещали термодпары. Температуру фиксировали при помощи многоточечного потенциометра КСП – 4.

На Рис. 1 представлены экспериментальные данные по изменению температуры в трибосистеме композиция №2 – композиция №2 в процессе трения на расстояниях 1,5; 2,5 и 4,2 мм от плоскости трения при значении нормальной нагрузки 0,67 МПа. По оси ординат отложено приращение температуры ПКМ ($\Delta T = T_i - T_{нач.}$). Аналогичные зависимости получены для других значений нагрузки. Как следует из рисунка, в течение первых 1,5...2 мин. наблюдается быстрое увеличение температуры, после чего скорость изменения температуры замедляется, приближаясь к постоянной для каждой нагрузки величине (кривые 1,2,3).

Предполагая, что на поверхности могут находиться продукты фрикционного переноса, искажающие истинную картину «сухого» трения, были проведены аналогичные испытания, но с предварительным обезжириванием поверхности образцов ацетоном (кривые 1*, 2*, 3*).

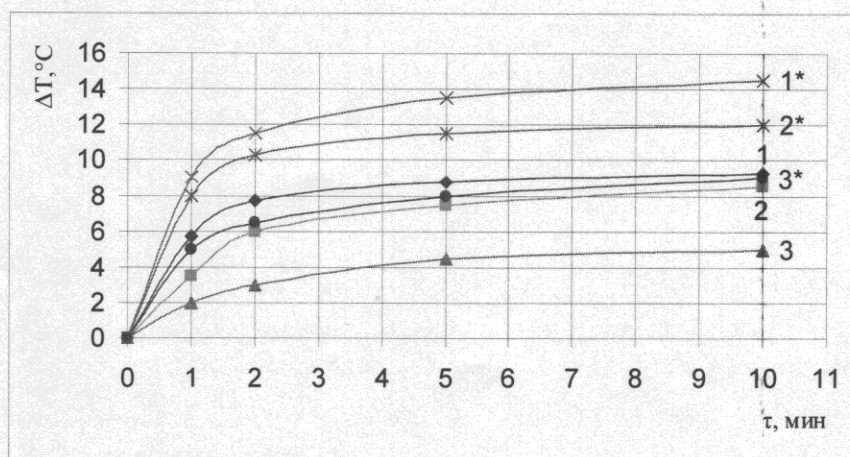


Рис. 1. Изменение температуры от продолжительности испытаний системы ПКМ_(с) – ПКМ_(с) и нормальной нагрузки 0,67 МПа. 1, 2, 3 – испытания без обезжиривания контактных поверхностей, расстояние от плоскости трения 1,5; 2,5; 4,2 мм. 1*, 2*, 3* – то же самое, с обезжириванием контактных поверхностей.

Изобразив результаты экспериментов на Рис. 1 в координатах $\Delta T - x$ (x – расстояние термодпары от плоскости трения), можно оценить температуру контактной поверхности в разные промежутки времени. Из Рис. 2 видно, что распределение температуры по толщине образцов подчиняется уравнению прямой линии, что отвечает условию теплопроводности для плоской однослойной стенки [6] как:

$$T = T_1 - [(T_1 - T_2) \cdot x] / \delta,$$

где T_1 и T_2 – температура наружных поверхностей, $T_1 > T_2$;
 x – расстояние от наружной поверхности стенки T_1 ;
 δ – толщина стенки, мм;
 T – температура на расстоянии x от наружной поверхности.

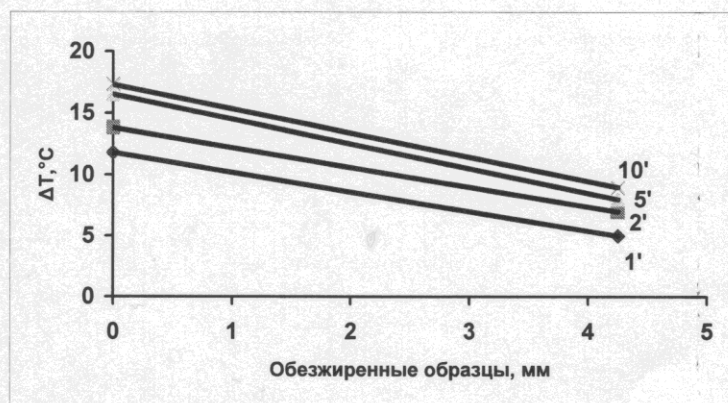


Рис. 2. Графические построения определения температуры контактной поверхности.

Это позволяет методом графической экстраполяции определить температуру поверхности ПКМ в различные промежутки времени.

Результаты экстраполяции представлены на Рис. 3. Как видно из Рис. 3, с увеличением нормальной нагрузки величина триборазогрева поверхности трения увеличивается, при этом, как и на Рис. 1, обезжиривание поверхности приводит к возрастанию температуры в 1,5... 2 раза.

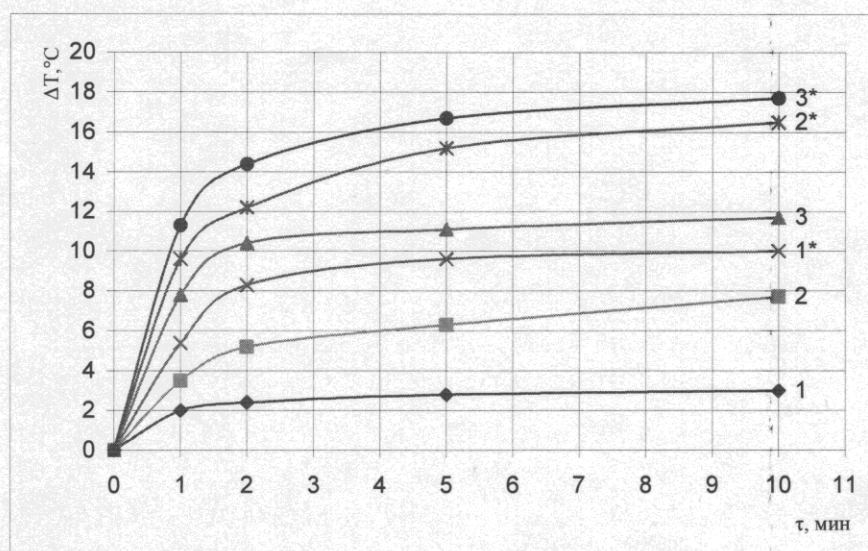


Рис. 3. Зависимость величины триборазогрева поверхности трения системы ПКМ_(с)-ПКМ_(с) от продолжительности испытания. 1, 2, 3 - испытания без обезжиривания контактных поверхностей с удельной нормальной нагрузкой 0,26; 0,51; 0,67 МПа. 1*, 2*, 3* - то же самое, с обезжириванием контактных поверхностей.

Коэффициент трения в процессе испытания также возрастает Рис. 4, при этом обезжиривание поверхностей трения приводит к его более существенному возрастанию. Это свидетельствует о том, что удаляемые продукты играют роль смазки.

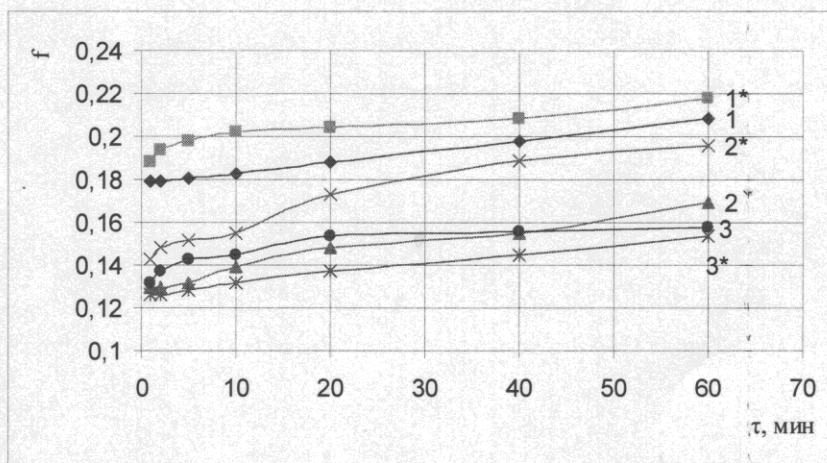


Рис. 4. Зависимость коэффициентов трения для системы ПКМ_(С)-ПКМ_(С) от продолжительности испытания.
1, 2, 3 - испытания без обезжиривания контактных поверхностей с удельной нормальной нагрузкой 0,26; 0,51; 0,67 МПа.
1*, 2*, 3* - то же самое, с обезжириванием контактных поверхностей.

В трибосистеме композиция №1 – композиция №1 характер изменения температуры поверхности от продолжительности испытания и величины нормальной нагрузки, Рис. 5, идентичен выявленным ранее закономерностям. Однако интенсивность роста температуры и абсолютные значения триборазогрева ниже, чем в системе ПКМ_(С) – ПКМ_(С).

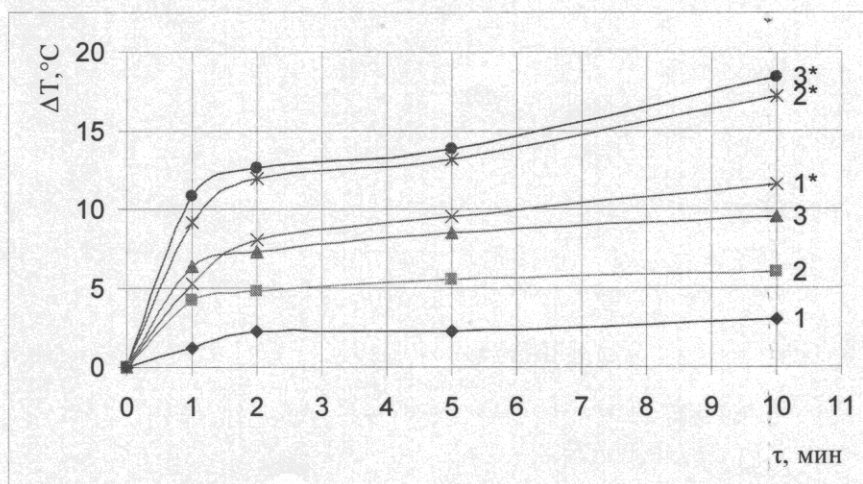


Рис. 5. Изменение температуры контактной поверхности от продолжительности испытаний системы ПКМ – ПКМ. 1, 2, 3 - испытания без обезжиривания контактных поверхностей с удельной нормальной нагрузкой 0,26; 0,51; 0,67 МПа.
1*, 2*, 3* - то же самое, с обезжириванием контактных поверхностей.

Изменение коэффициента трения от продолжительности испытания оказалось обратным изменению температуры Рис. 6. Эти две трибосистемы (ПКМ_(С) – ПКМ_(С) и ПКМ – ПКМ без графита) отличаются друг от друга только присутствием или отсутствием графита. В начальные моменты их коэффициенты трения близки, в процессе испытания в трибосистеме без графита коэффициент трения уменьшается, а в присутствии графита – возрастает.

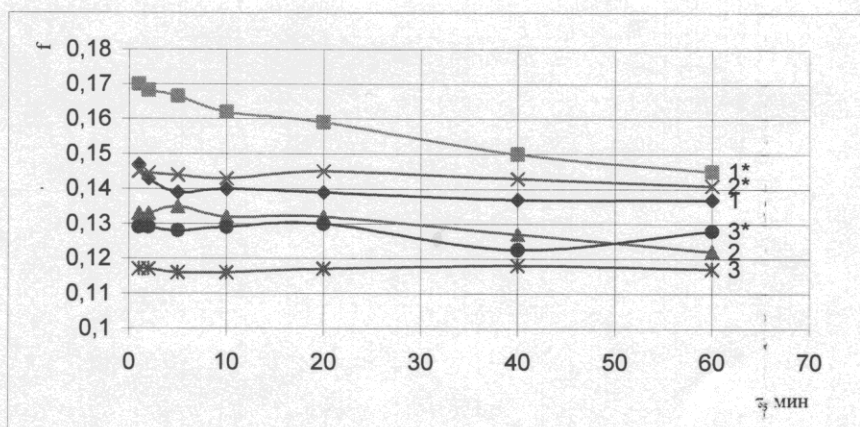


Рис. 6. Зависимость коэффициентов трения для системы ПКМ - ПКМ от продолжительности испытания. 1, 2, 3 - испытания без обезжиривания контактных поверхностей с удельной нормальной нагрузкой 0,26; 0,51; 0,67 МПа. 1*, 2*, 3*- то же самое, с обезжириванием контактных поверхностей.

Поскольку величины триборазогрева близки, должны быть близки их релаксационные характеристики и физико-механические свойства. Иначе говоря, различия в трибологическом поведении этих систем не связаны с их физическим состоянием.

Из этого можно заключить, что основной причиной различия в поведении этих двух систем является различие в свойствах «третьего тела», образующегося в результате окисления и деструкции фенолоформальдегидной смолы. В одном случае смазка – «третье тело» состоит исключительно из продуктов деструкции, в другом случае «третье тело» содержит дополнительно мелкодисперсный порошкообразный углерод. Реологическое поведение этих смазок должно быть различным. В присутствии дисперсных включений вязкость смазки должна быть больше, что и отражается в увеличении силы трения и росте коэффициента трения во времени.

Таким образом, можно заключить, что поведение трибосистем в сильной степени зависит от свойств образующегося «третьего тела», в частности, его реологического поведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крагельский И.В. Трение и износ. Машиностроение, М., 1968, С.31.
2. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного слоя. ФМ, М., 1963; С.67.
3. Кестельман Н.Я. Термическая обработка полимерных материалов в машиностроении. Изд. Машиностроение. М. 1968. С. 222.
4. Коршак В.В. Термостойкие полимеры. М. Изд. Наука. 1969, с. 94.
5. Hermance H.W., Egan T.F. Dell Systems Technical J. 1958 / Yol 37. P. 739-776.
6. Черняк О.В., Рыбчинская Г.Б. Основы теплотехники и гидравлики. Изд. Высшая школа. – М., 1979. С. 159.