

МОЛЕКУЛЯРНАЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

УДК 513.43

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ЖИРНЫХ КИСЛОТ

М. В. Новоселова, М. П. Вильмс

Тверской государственной технической университет

Представлены результаты экспериментального исследования трибологических свойств тонких пленок жирных кислот – капроновой и рицинолевой – на поверхности стального образца.

Ключевые слова: коэффициент трения, тонкие пленки

Цель исследований – изучение влияния адсорбированных на поверхности металла молекул поверхностно-активных веществ (ПАВ) на коэффициент трения. Для исследования граничного трения использованы растворы различной концентрации капроновой и рицинолевой кислот в толуоле и бензоле.

Капроновая кислота $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ –самая низкомолекулярная из высших жирных кислот, имеет конфигурацию молекулы в виде относительно короткой линейной углеродной цепочки с карбоксильной группой на конце. Длина молекулы капроновой кислоты составляет ≈ 1 нм [1].

Рицинолевая кислота $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ содержит, кроме карбоксильной группы, гидроксильную и одну двойную связь примерно в середине молекулы. Молекула рицинолевой кислоты имеет общую длину немного меньше 2,5 нм и обладает высоким сродством к металлическим поверхностям.

Методика эксперимента. Для определения коэффициента трения использовали микротрибометр [2] со стальным индентором радиусом кривизны 0,5 мм. Контртелом во всех экспериментах служила полированная стальная плоская поверхность. Коэффициент трения f определяли при нормальных нагрузках N на индентор, создаваемых разновесами массой от 50 до 500 мг.

Контактирующие поверхности перед нанесением граничного слоя ПАВ очищали по методу Ахматова [1] протиранием порошком активированного угля с помощью хлопчатобумажной ткани.

Тонкая пленка кислоты наносилась на поверхность стального образца методом сливания растворов [1]. Стальная пластинка вертикально погружалась в сосуд с раствором исследуемой кислоты,

при извлечении на ее поверхности в результате стекания раствора и испарения летучего растворителя оставался слой молекул кислоты.

Результаты и обсуждение. Зависимости коэффициента трения от нагрузки на индентор представлены на рис. 1 и 2 для различных объемных концентраций C_V кислот в растворе. С ростом нагрузки коэффициент трения убывает, при нагрузках более 300 мг – практически стабилизируется на уровне 0,15...0,20.

Из анализа представленных данных следует, что зависимость коэффициента трения от концентрации кислот в растворе немонотонная, причем немонотонность особенно заметна при малых нагрузках на индентор. Для большей наглядности серия экспериментальных данных по измерению коэффициента трения f при различных нагрузках N на индентор для различных концентраций C_V кислот (рис. 1) представлена на рис. 3 в виде зависимостей $f = f(C_V)$ для различных нагрузок N на индентор.

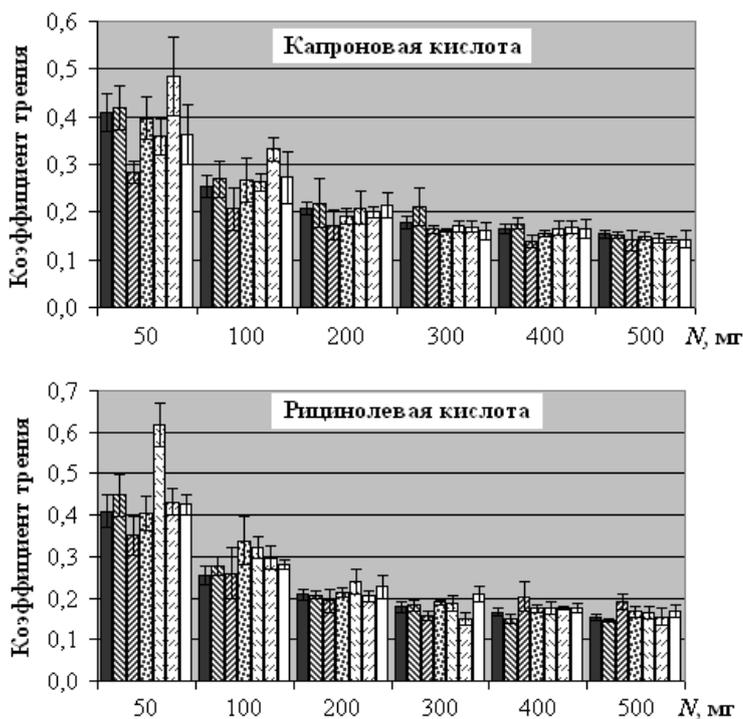


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от нагрузки: ■ – без смазки; ▨ – $C_V = 1,0 \cdot 10^{-4}$; ▩ – $1,3 \cdot 10^{-4}$; ▤ – $1,4 \cdot 10^{-4}$; ▥ – $1,7 \cdot 10^{-4}$; ▦ – $2,5 \cdot 10^{-4}$; □ – $5,0 \cdot 10^{-4}$. Растворитель – толуол

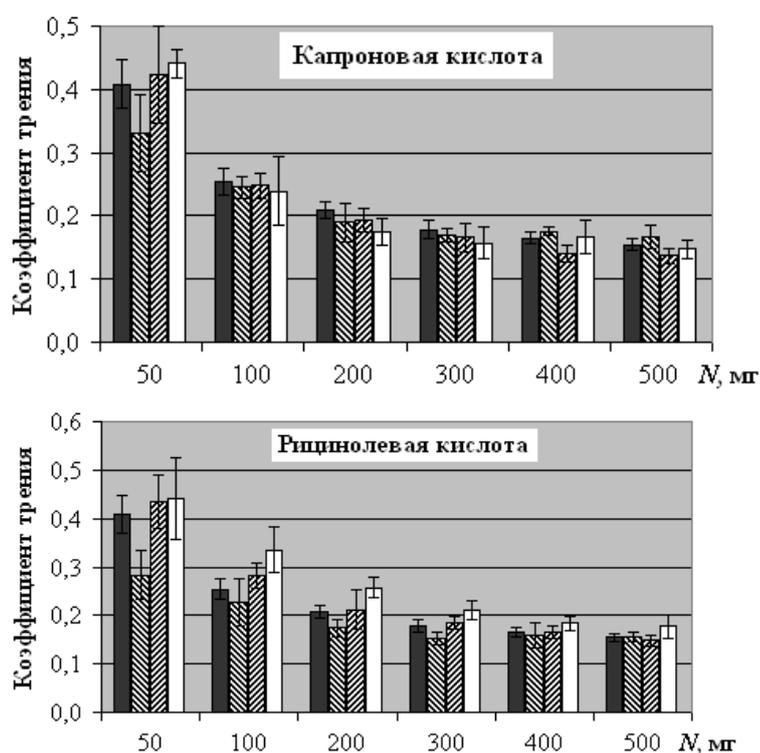


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от нагрузки: ■ – без смазки; ▨ – $C_V = 1,3 \cdot 10^{-4}$; ▩ – $5,0 \cdot 10^{-4}$; □ – $10,0 \cdot 10^{-4}$. Растворитель – бензол

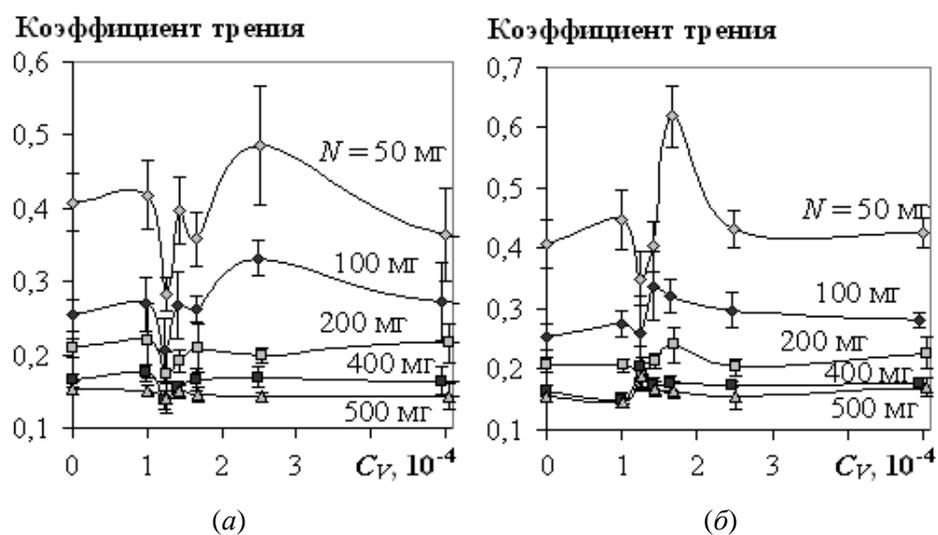


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения от концентрации капроновой (а) и рицинолевой (б) кислот. Растворитель – толуол

Из анализа результатов экспериментов следует, что присутствие на поверхности металла адсорбированных молекул жирных кислот может не только снижать коэффициент трения по сравнению с очищенной поверхностью, но и повышать его. Этот эффект особенно заметен при малых нагрузках на индентор, и более выражен для молекул рицинолевой кислоты, чем для молекул капроновой. Аналогичный эффект обнаружен при трении стекла по стеклу при наличии на поверхности адсорбированных молекул пальмитиновой кислоты [3].

Следуя Б.В. Дерягину, зависимости, представленные на рис. 3, можно объяснить следующим образом. При очень малых концентрациях кислоты в растворе мы получаем очень малую степень заполнения адсорбционного слоя, молекулы не образуют сплошной пленки и могут перемещаться по поверхности металла подобно двумерному газу. Кроме молекул кислоты, на поверхности металла могут адсорбироваться молекулы растворителя, но они не обладают эффективным экранирующим действием, поэтому коэффициент трения практически не отличается от значений для очищенных поверхностей. С ростом концентрации кислоты в растворе степень заполнения адсорбированного слоя увеличивается, молекулы кислоты при этом располагаются параллельно поверхности адсорбента, снижая коэффициент трения по сравнению со значениями для очищенных поверхностей. При дальнейшем увеличении концентрации кислоты часть ее молекул вынуждена располагаться перпендикулярно поверхности, адсорбированный слой как бы становится шероховатым, и коэффициент трения увеличивается. При достаточно больших концентрациях кислоты заполнение адсорбированного слоя становится полным, все молекулы располагаются перпендикулярно поверхности и адсорбированный слой приобретает характерный вид «щетки», многократно описанный в литературе. Коэффициент трения снижается и перестает зависеть от концентрации кислоты. Боуден и Тейбор [4] также отмечают, что при очень малых нагрузках коэффициент трения медных поверхностей, смазанных лауриновой и монтановой (октакозановой) кислотами, выше, чем несмазанных поверхностей. Они объясняют это тем, что при малых нагрузках трение обусловлено не взаимодействием твердых поверхностей, а процессами в самой углеводородной пленке. С ростом нагрузки во взаимодействие через смазочную пленку вступают неровности поверхностей.

Сравнение зависимостей $f = f(N)$ для двух исследованных кислот одинаковой концентрации представлено на рис. 4. Граничные слои обеих кислот при малой концентрации уменьшают коэффициент трения по сравнению с очищенной поверхностью. Влияние

конфигурации и длины молекулярной цепочки явно не выражено. С увеличением концентрации кислоты в растворе наблюдается повышение значений коэффициента трения. Особенно это выражено для рицинолевой кислоты.

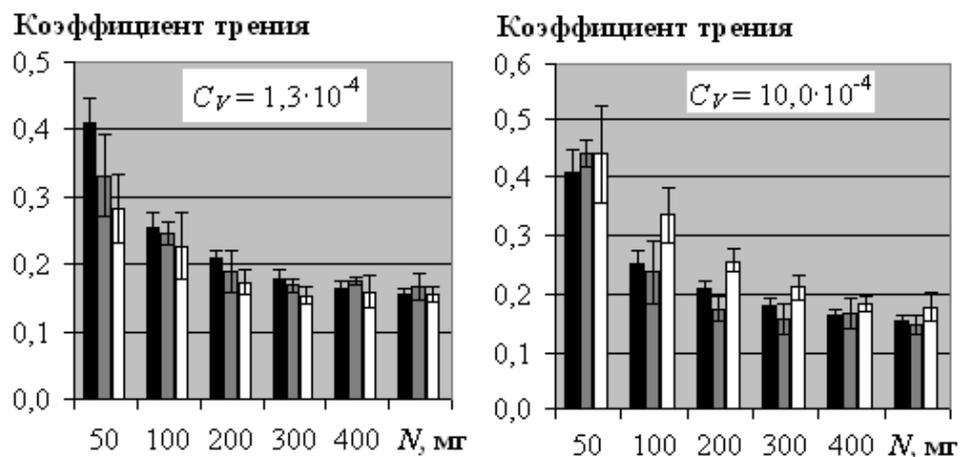


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от нагрузки: ■ – без смазки; ■ – капроновая; □ – рицинолевая кислота. Растворитель – бензол

Выводы. Наличие тонких пленок поверхностно-активных веществ – жирных кислот на поверхности контактирующих металлических образцов может приводить как к снижению, так и к увеличению коэффициента трения по сравнению с очищенной поверхностью. На значение коэффициента трения, по-видимому, оказывает влияние степень заполнения адсорбированного слоя на поверхности металла. Для аргументированного анализа природы и степени этого влияния на процессы трения в условиях граничной смазки при малых контактных нагрузках (малых размерах площадок контакта) нуждаются в более детальном исследовании.

Список литературы

1. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М.: Физматгиз. 1963. 472 с.
2. Патент РФ № 2150688. Способ определения коэффициента трения покоя поверхностных слоев материала / В.В. Измайлов, А.Ф. Гусев, И.Н. Нестерова, А.А. Иванова; опубл. 10.06.2000. Бюл. № 16.
3. Дерягин Б.В. Что такое трение / Б.В. Дерягин. М.: Изд-во академии наук. 1963. 232 с.

4. Боуден Ф.П. Граничное трение смазанных металлов / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор // Трение и граничная смазка: сб. статей под ред. И.В. Крагельского. М.: Изд-во иностранной литературы, 1953. С. 144–165.

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF THIN FILMS OF FATTY ACIDS

M. V. Novoselova, M. P. Vilms

Tver State Technical University

Tribological properties of thin films of fatty acids have been investigated experimentally. Experimental results have been reported for the thin films of capronic and ricinoleic acids on steel surfaces.

Keywords: *friction coefficient, thin films*

Об авторах:

НОВОСЕЛОВА Марина Вячеславовна – канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной физики ТвГТУ, 170026, г. Тверь, наб. Аф.Никитина, 22; *e-mail:* novoselova.tgtu@yandex.ru;

ВИЛЬМС Марина Петровна – студентка машиностроительного факультета ТвГТУ.