

12. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Крапивка Н.А. и др. Влияние пластической деформации на фазовый состав и свойства высокоэнтропийных сплавов // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк. 2016. Випуск № 54. – С. 326-338.
13. Партон В.З. Механика разрушения: от теории к практике. - М.: Наука. 1990. - 240 с.
14. Рыжкин А.А. О влиянии температурного поля на трибологические характеристики пары трения // Вестник ДГТУ. 2005. Т.5. №3(25). – С. 460 – 471.
15. Булах А.Г. Методы термодинамики в минералогии - М.: Недра. 1968. - 175 с.

В.И. Кубич<sup>1</sup>, О.Г. Чернета<sup>2</sup>, В.М. Юров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет «Запорожская политехника», г. Запорожье, Украина, [schmirung@gmail.com](mailto:schmirung@gmail.com), <sup>2</sup>Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина, [ocherneta@gmail.com](mailto:ocherneta@gmail.com), <sup>3</sup>Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, г. Караганда, Казахстан, [exciton@list.ru](mailto:exciton@list.ru)

### Методика определения параметров адгезионных свойств материалов на машине трения СМЦ-2

*Введение.* Исходя из того, что контактное взаимодействие поверхностей металлов при осуществлении передачи и преобразования движений осуществляется с потерями на трение, которые определяются молекулярной и механической составляющей, то определение параметров последних представляется актуальным научно-прикладным заданием. Особенно важно иметь численные значения параметров адгезионных свойств непосредственно для поверхностей металлов натуральных эксплуатационных узлов трения машин и механизмов с реверсивным движением, т.е. в которых имеет место быть сдвиг с определенной скоростью перемещения, когда проявление молекулярной (адгезионной) составляющей силы трения успевает проявляться.

Ограниченность сведений о проявлении параметров молекулярной составляющей трения – сдвиговой прочности адгезионной связи  $\tau_0$  и пьезокоэффициента  $\beta$  молекулярной составляющей для каждого конкретного исследования предопределяет использование либо данных ранее полученных для подобных материалов, либо же выполнение целенаправленного определения параметров моделированием сдвига на малогабаритных образцах с целью повышения объективности и точности оценки результата. Полученные данные представляются необходимыми, в первую очередь, для прогнозной оценки трибомеханических свойств трибосистем материалов при использовании математических выражений, которые устанавливают взаимосвязь между коэффициентом трения и параметрами микрогеометрии контакта, адгезионной составляющей, твердостью, нагрузкой при проявлении упругого, пластического, упруго-пластического деформирования зон фрикционного взаимодействия.

*Цель работы* – представление возможностей стандартной машины испытания материалов на трение и износ СМЦ-2 для определения параметров адгезионных свойств материалов.

*Методика исследований* Параметры молекулярной составляющей предлагается определять в соответствии с методикой работы на адгезиометре ОТ-1 [1] и на устройстве с применением сферического индентора [2], которые предполагают измерение момента трения  $M_T$  при сдвиге – нарушении фрикционной связи сферических поверхностей с плоскими поверхностями образцов (пластин) и радиуса (диаметра) проекции отпечатка  $R_0(d)$ .

Однако моделирование нарушения фрикционных связей будет осуществлено при сдвиге с места диска относительно колодки, выполненной, например, в форме треугольника с цилиндрической наружной поверхностью, при соответствующих нагрузках (рис.1 а) с соответствующей доработкой привода нижнего вала. При этом:

- максимальный момент сдвига определится самописцем на поле масштабной ленты при фиксированном повороте на угол  $\alpha$  с определенной нагрузкой, прикладываемой к нижнему валу (рис.1 б). Масса груза определит скорость сдвига;

- площадь взаимодействия поверхностей трения определится отпечатком на миллиметровой бумаге (рис.1 в).

*Методика испытаний* Для опробования методики использовались следующие трибологические системы материалов:

- «40Х - сталь 45»;
- «12Х2Н4 - сталь 45»;
- «45ХН2МФА - сталь 45».

Контактное взаимодействие моделировалось без смазочного материала.

При этом использовались образцы:

- для стали 45 в форме треугольника (рис.1 в) с цилиндрической внешней поверхностью, толщиной 4 мм, который закреплялся в оправке на неподвижном валу машины;
- для других металлов в форме диска диаметром 50 мм и толщиной 12 мм, которые устанавливались на нижнем валу машины и вращались.

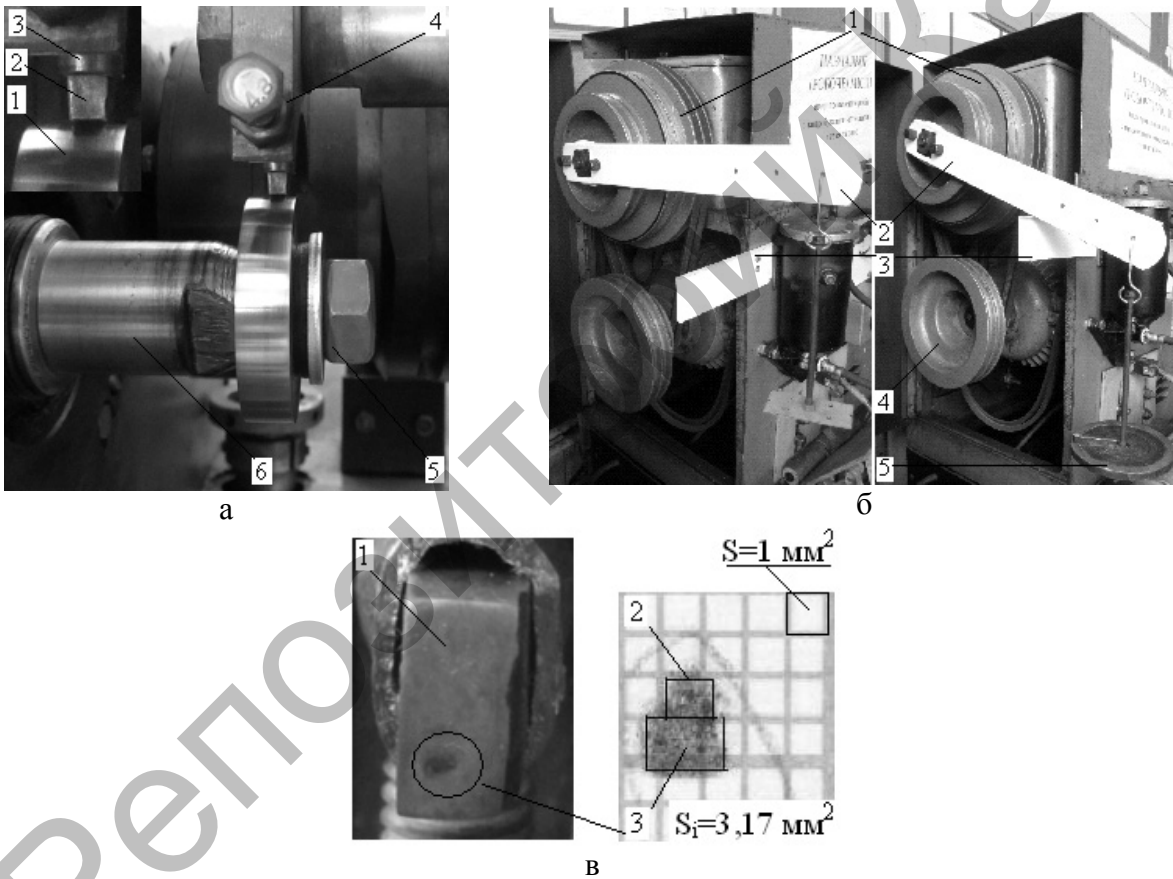


Рисунок 1. Методическое обеспечение измерения сопротивления перемещению при сдвиге: а – контакт модельных образцов: 1 – диск; 2 – колодка; 3 – дополнительный держатель колодки; 4 – винты крепления дополнительного держателя; 5 – детали крепления диска; 6 – нижний вал машины трения СМЦ-2; б – угловой нагрузочный привод нижнего вала: 1 – верхний шкив; 2 – рычаг грузов; 3 – ограничитель хода рычага грузов; 4 – нижний шкив; 5 – груз; в – отпечаток контакта,  $N=280Н$ : 1 – колодка; 2,3 – периметры расчетных площадей

Измерения проводили в такой последовательности. Диски из соответствующих материалов закреплялись на нижнем валу машины трения. Колодка размещалась в дополнительном держателе, фиксировалась винтами в штатном держателе, который

закреплялся на верхнем валу машины трения. Далее колодка прижималась с соответствующей силой к диску с помощью загрузочного винта машины трения. Нагрузка имела значения в 140Н, 185Н, 230Н, 280Н. Далее диск сдвигался с места – проворачивался с помощью грузов 5 (рис.1 б) на фиксированный угол  $\alpha$ . Время на угловое перемещение и определяло скорость сдвига –  $t_1=0,43$  с и  $t_2=1$  с. Среднее линейное перемещение диска составило  $l=4,5$  мм. При этом самописец на трибограмме фиксировал временное сопротивление сдвига по отклонению от нулевого значения.

Момент трения определялся средним статистическим с соответствующими дисперсиями по количеству опытов ( $n=8$ ) при скоростях сдвига:  $v_1=10,16\pm 0,8$  мм/с,  $v_2=5,08\pm 0,6$  мм/с.

Средняя статистическая дисперсия  $\tau$  имела значения  $D_{\min}=0,5$  МПа,  $D_{\max}=1,13$  МПа.

Прочность адгезионной связи при сдвиге (сдвиговое сопротивление молекулярной связи) – тангенциальная прочность  $\tau$  определялась в соответствии с выражением:

$$\tau = \frac{M_m}{r \cdot S_b} \quad (1)$$

где  $M_m$  – момент трения при сдвиге, Н·м;  $r$  – радиус диска, м;  $S_b$  – площадь отпечатка, мм<sup>2</sup>.

*Результаты исследований.* Графическая аппроксимация осредненных данных в виде линейных зависимостей с обратной экстраполяцией сдвигового сопротивления перемещений приведено на рис.2. При этом по параметрам линий тренда в программе Excel определены их уравнения и достоверность аппроксимации  $R^2$ , результаты приведены в табл. 1.

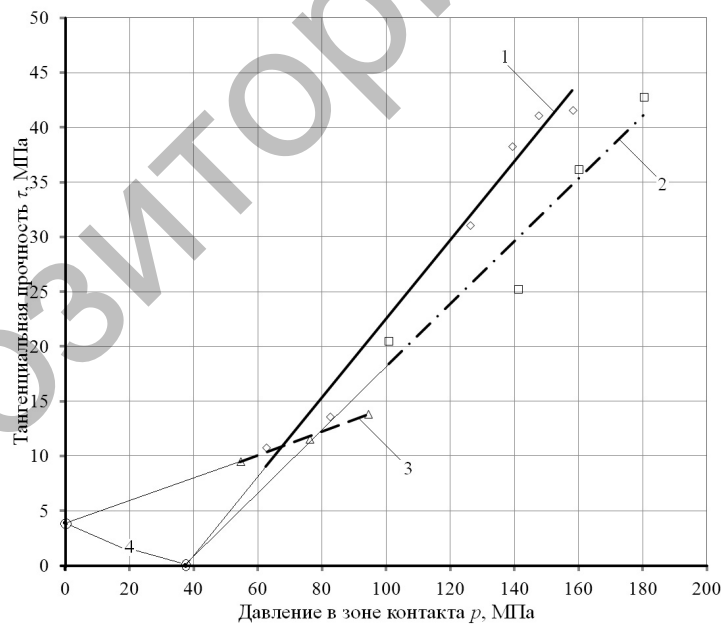


Рисунок 2. Зависимость тангенциальной прочности адгезионной связи стали 45 от давления при скорости сдвига  $10,16\pm 0,8$  мм/с: 1 – 12X2H4; 2 – 40X; 3 – 45XH2MФА; 4 – точки обратной экстраполяции

Таблица 1. Параметры аппроксимации экспериментальных данных для трибологических систем материалов

Параметр	«12Х2Н4 – сталь 45»	«45ХН2МФА – сталь 45»	«40Х – сталь 45»
Вид уравнения	$\tau = 0,36p + 13,44$	$\tau = 0,11p + 3,58$	$\tau = 0,28p + 10,27$
Достоверность аппроксимации $R^2$	0,98	0,99	0,9
Пьезокоэффициент $\beta$	0,36	0,11	0,28
Тангенциальная прочность $\tau_0$ , МПа	>0 при $p \approx 37$ МПа	3,58	>0 при $p \approx 36$ МПа

Анализ полученных результатов свидетельствует о реализованной возможности экспериментально определять параметры адгезионных свойств, например, рассмотренных трибологических систем металлов. При этом численные значения параметров не расходятся с подобными результатами, представленными в работе [1]. Предварительно полученные результаты указывают на то, что существуют режимы контактного взаимодействия по нагрузке, при которых при выполнении расчетов коэффициента трения учитывать молекулярную составляющую не целесообразно, поскольку она начинает проявляться только с некоторого давления в контакте.

*Выводы.* Предложенные подходы для моделирования сдвигового сопротивления в контакте малогабаритных образцов в зависимости от нормального нагружения и скорости сдвига при незначительной доработке оборудования машины трения СМЦ-2 позволяют определять параметры адгезионных свойств материалов.

Приведены результаты экспериментальных исследований в соответствии с которыми на примере трибологических систем материалов «40Х - сталь 45», «12Х2Н4 - сталь 45», «45ХН2МФА - сталь 45» показана возможность определять параметры их адгезионных свойств с использованием оборудования машины трения СМЦ-2 при незначительной ее доработке.

*Литературы:*

1. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. - М.:«Машиностроение», 1977. - 526 с.
2. Семенов В.И. Влияние комплексного параметра пластического фрикционного контакта и структуры материала на прочность адгезионных связей/ В. И. Семенов Л. Ш. Шустер, С. В. Чертовских, Г. И. Рааб/ Трение и износ: январь, февраль 2005. Том 26 №1. С.74-79

В.М. Налбандян, Е.В. Селиверстова\*, Д.А. Темирбаева\*, М.Г. Кучеренко, Н.Х. Ибраев  
 Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия, [clibph@yandex.ru](mailto:clibph@yandex.ru),  
 \*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан,  
[evgnseliverstova@gmail.com](mailto:evgnseliverstova@gmail.com)

**Плазмон-активированные процессы в гибридном молекулярном кластере со сферической наночастицей**

В экспериментах ИМНФ КарГУ [1] было обнаружено плазмон-инициированное увеличение интенсивности люминесценции молекул органических красителей в многослойных планарных структурах с островковыми пленками серебра, в условиях ферстеровского резонансного переноса энергии (FRET). Наблюдалось влияние плазмонной подсистемы на скорость FRET молекул красителей, зависящее от толщины изолирующего слоя из молекул ПАВ (Stearic acid) между пленками люминофоров и металла.