

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПАР ТРЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ РАВНОВЕСНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ

Акулич Я. А.

Брестский государственный технический университет  
г. Брест, Республика Беларусь

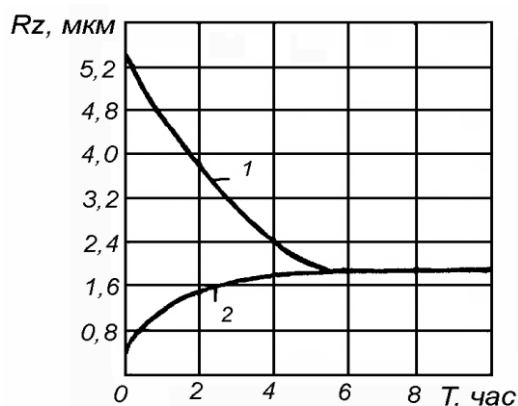
Большое внимание вопросу влияния характеристик микрогеометрии поверхности на приработку деталей машин уделено в работах И. В. Крагельского [1]. Так, первоначально в процессе приработки трущиеся поверхности контактируют по вершинам неровностей, в результате чего фактическая площадь контакта составляет малый процент от расчетной. Вследствие этого в местах фактического контакта по вершинам развиваются большие удельные давления, часто превышающие предел текучести трущихся металлов. Под действием данных давлений происходит пластическая деформация смятия неровностей, а при перемещении трущихся поверхностей относительно друг друга – деформация среза, вырывы и пластический сдвиг вершин неровностей, приводящие к интенсивному начальному износу.

В период приработки деталей, работающих в легких и средних условиях, высота неровностей уменьшается на 65–75 % при одновременном увеличении фактической поверхности их контакта. В это же время наблюдается процесс изменения размеров и формы неровностей. При этом высота неровностей уменьшается или увеличивается до определенного “оптимального значения”, различного для разных условий трения. Данная шероховатость будет являться оптимальной для данных условий трения и обеспечивать оптимальный износ пары трения. И. В. Крагельский подчеркивает, что она может быть как больше, так и меньше исходной (рисунок 1).

Для экспериментального исследования пар трения были выбраны образцы типа “вал-втулка”.

Образец, представляющий “вал” в паре трения, в качестве материала имеет легированную конструкционную сталь 40Х с последующей термообработкой до HRC 40...45, ГОСТ 4543-2016, а втулка пары трения была изготовлена из оловянистой бронзы БрОЦС 5-5-5 ГОСТ 613-79. Известно, что сочетание материалов антифрикционных пар трения сталь-бронза относится к наиболее благоприятным, так как коэффициенты трения скольжения для них не будут иметь высоких значений.

Для начальной серии экспериментальных исследований, цель которой заключалась в подборе оптимальных режимов при исследовании, были подготовлены вышеописанные образцы, заключительным методом обработки поверхностей трения которых являлось чистовое точение. При этом, параметр шероховатости поверхностей трения составлял  $Ra = 1,25$ .



1 – исходная шероховатость  $Rz = 5,4$  мкм; 2 – исходная шероховатость  $Rz = 0,5$  мкм

**Рисунок 1 – Изменение шероховатости поверхности трения после приработки, при разных величинах исходной шероховатости поверхности трения**

Во второй стадии экспериментальных исследований следовало принять во внимание необходимость определить трибологические характеристики пар трения, имеющих отличный исходный параметр шероховатости, полученный разными методами механической обработки. Таким образом, сопрягаемые поверхности образцов имели значения шероховатости, приведенные в таблице 1. Для подбора оптимальных значений шероховатости для исследования пар трения данного типа были использованы рекомендации источника [2].

**Таблица 1 – Средний параметр исходной шероховатости поверхностей трения образцов для исследования, полученных разными способами обработки**

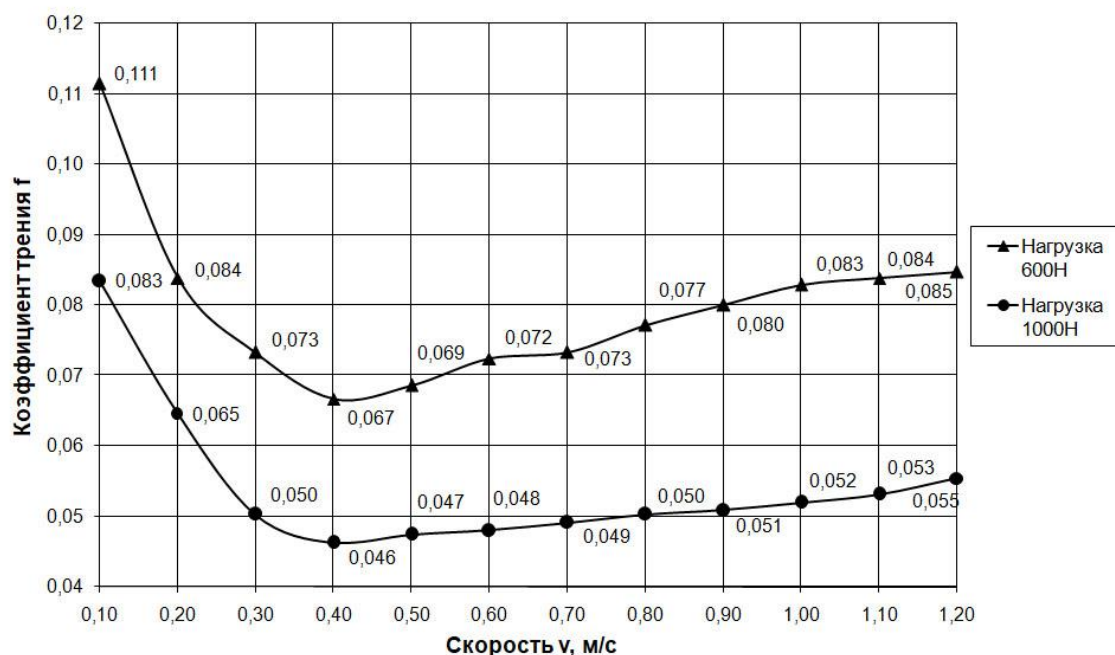
Метод механической обработки поверхности	Материал образца	Средний параметр исходной шероховатости, $Ra$
Точение	сталь 40Х	1,27
	бронза БрОЦС 5-5-5	1,31
Шлифование	сталь 40Х	0,24
	бронза БрОЦС 5-5-5	0,27

Размеры образцов, подвергнутых испытаниям на трение, соответствовали руководству по эксплуатации машины трения 2070 СМТ–1 [3]. Радиус рабочей поверхности образцов составлял  $R_{\text{раб.}} = 17,5$  мм.

Испытания проводились на машине трения указанной выше модели, имеющей камеру для испытаний образцов в жидкостной среде. В качестве смазочной среды было использовано масло И-40А, ГОСТ 20799-88, с кинематической вязкостью при  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $51\text{--}75$  мм<sup>2</sup>/с.

При проведении трибологических испытаний была реализована прямая пара трения, с соблюдением следующих условий: вращение передавалось на образец с большими площадью и твердостью исходной структуры поверхностного материала, а нагрузка была приложена через неподвижный образец.

Для подбора оптимальных режимов для исследования пар трения были определены зависимости коэффициента трения от скорости скольжения. Зависимость коэффициента трения  $f$  от скорости скольжения  $V$ , при фиксированных величинах нагружения, представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Зависимость значений коэффициента трения от скорости скольжения при заданных режимах нагружения 600Н и 1000Н**

Рассматривая данные зависимости, следует указать на влияние смазочного материала, образующего граничный слой трения, на коэффициент трения в области низких значений скорости скольжения. Так как исследования проходили в присутствии смазочной среды, наблюдается характерное уменьшение коэффициента трения при увеличении скорости скольжения. В данном случае уменьшение коэффициента трения можно объяснить сокращением времени существования фрикционных связей и уменьшением площади, числа и пятен контакта. Важное значение в данном случае имеет уменьшение вероятности разрушения граничного слоя.

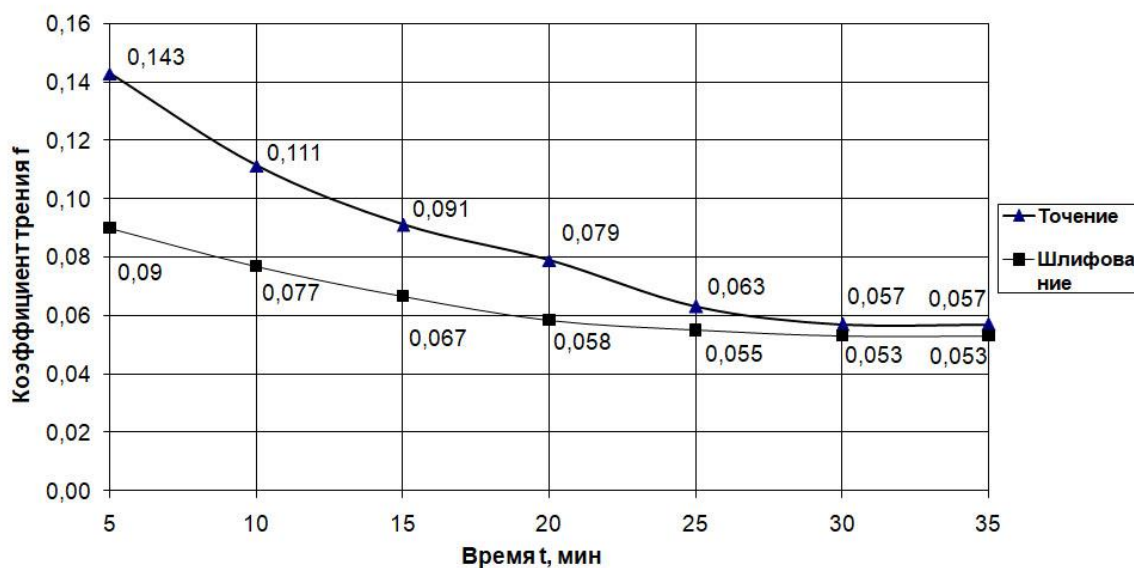
Как видно на диаграмме, при невысоких скоростях скольжения, до значений  $V = 0,3 \dots 0,4$  м/с, время контакта микронеровностей поверхности достаточно для разрушения граничного слоя под действием нагрузки.

Для каждого значения прикладываемой к паре трения нагрузки существует область значений, в которой коэффициент трения минимален, несмотря на увеличение скорости скольжения. Так, минимальные показатели коэффициента трения можно наблюдать при значениях скорости скольжения в диапазоне  $V = 0,4 \dots 0,5$  м/с.

При дальнейшем повышении скорости скольжения до значений  $V = 0,8 \dots 1,2$  м/с, на увеличение коэффициента трения также может оказывать влияние температура в зоне трения. В результате увеличения температуры происходит смещение, а на отдельных участках и разрушение граничных слоев, что может привести к локальному схватыванию поверхностей взаимодействующих тел.

Также следует отметить более низкие значения коэффициента трения при более высоких показателях нагружения пары трения. Вместе с тем, очевидно, что увеличение скорости скольжения при более высоком значении нагрузки не приводит к изменению характера зависимости  $f(v)$ .

При исследовании пар трения, имеющих разную исходную шероховатость, полученную отличными методами механической обработки, были получены следующие результаты. Так, динамика изменения величины коэффициента трения от времени испытания представлены на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Зависимость коэффициента трения от времени испытания пар трения с разной исходной шероховатостью**

Рассматривая приведенные зависимости, можно отметить, что через 25–30 минут после начала испытаний наблюдались стабильные значения коэффициента трения, что может говорить о переходе исследуемой пары трения в равновесное динамическое состояние.

Диаграммы показывают, что процесс приработки поверхностей пар трения обработанных шлифованием проходит быстрее. Отметим также более низкие значения коэффициента трения и температуры среды для данной пары трения. Очевидно, что время приработки, сопровождаемое интенсивным изнашиванием сопряженных поверхностей будет зависеть от того, насколько исходные параметры шероховатости будут близки к эксплуатационным. Сформировавшееся в результате приработки равновесная шероховатость, как и другие параметры поверхностного слоя контактирующих деталей, будет зависеть от метода исходной механической обработки поверхности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крагельский И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с.
2. Суслов, А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Суслов – М. : Машиностроение, 2000. – 320 с.
3. Машина для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1 / Техническое описание и инструкция по эксплуатации 2.779.013-01 ТО. – М. : МЗИО, 1981. – 69 с.