

Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение «Лицей №3»
муниципального образования города Чебоксары- столицы Чувашской
Республики

Автор: Исмуков Егор Николаевич, ученик 11 Г класса

Экспериментальное исследование адгезионных аспектов силы трения

Тематика: «Инженерные наноматериалы»

Классификатор:

8.3. Анализ механических характеристик наноматериалов или
материалов на наноуровне

Научный руководитель:

Клинк Надежда Юрьевна, учитель физики МАОУ «Лицей №3»

Экспериментальное исследование адгезионных аспектов силы трения

Аннотация

Цель работы:

Исследовать стадию перехода от силы трения покоя к силе трения скольжения при различных условиях.

Актуальность и практическая значимость. Механические свойства материалов во многом определяются их структурой на микро- и наноуровне. В том числе- силы трения.

Методы исследования. Создана и апробирована оригинальная экспериментальная установка, позволяющая исключить человеческий фактор в эксперименте.

Использовалось лабораторное оборудование: детекторы силы, расстояния и компьютерная программа «Мультилаб», которая позволяет производить до 10000 замеров в секунду.

В ходе работы были проведены следующие экспериментальные исследования:

1. Исследование максимальной силы страгивания.

Исследовалась зависимость максимальной силы трения покоя от рода и состояния поверхности, наличия различной смазки, положения центра масс, массы тела и площади поверхности. Рассчитывалось отношение максимальной силы трения покоя к силе трения скольжения, а также коэффициент трения скольжения.

2. Исследование штрибек-эффекта и фрикционных колебаний.

Анализировались следующие параметры: скорость изменения силы до страгивания, максимальная сила трения покоя (сила страгивания), скорость штрибек-эффекта, период фрикционных колебаний, сила трения скольжения, погрешность определения силы.

Основные результаты.

От площади поверхности и от положения центра масс сила трения скольжения не зависит. Сила трения деревянного бруска не уменьшается при наличии смазки, вопреки ожиданиям. Мы объясняем это тем, что при наличии слоя воды волокна дерева из-за поверхностного натяжения ориентируются перпендикулярно, что приводит к увеличению силы трения.

В экспериментах со стеклянными поверхностями максимальная сила трения покоя зависит от времени выдержки в состоянии покоя перед опытом и различается почти на порядок. Мы объясняем это влиянием силы поверхностного натяжения воды и эффектами смачивания.

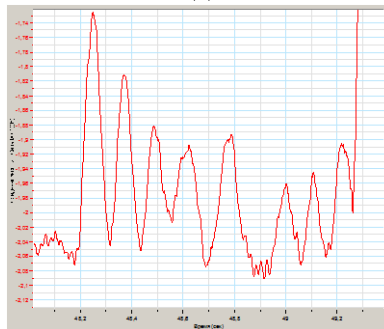
Увеличение веса (силы реакции опоры) приводит к увеличению скорости штрибек-эффекта и периода фрикционных колебаний даже при незначительном уменьшении скорости изменения внешней силы. Уменьшение скорости изменения внешней силы ведет к уменьшению скорости штрибек-эффекта при прочих равных условиях.

Скорость штрибек-эффекта при наличии смазки уменьшается в три и более раз. Период фрикционных колебаний растет с увеличением веса тела.

Анализ фрикционных колебаний для сухой металлической поверхности оказался затруднительным ввиду наличия нескольких мод колебаний.



Развертка силы по времени.



Увеличенная переходная область.

Введение

В школьной программе по физике мы изучаем очень интересную и загадочную силу – силу трения. Хотя кажется, что сила трения полностью изучена, но это не так. Многие аспекты этой силы остаются не объясненными наукой до сих пор.

Сила трения- сила электромагнитной природы, она является результатом взаимодействия молекул тел, скользящих друг относительно друга. Радиус молекулярного действия составляет величину порядка 1 - 2 нм [1].

Основной закон (закон Кулона-Амонтона, открытый еще Леонардо да Винчи) – $F_{\text{тр}} = \mu N$, где N — сила реакции опоры, μ — коэффициент трения скольжения. Коэффициент μ зависит от материала и качества обработки соприкасающихся поверхностей и не зависит от веса тела. Коэффициент трения определяется опытным путем.

Сила трения скольжения всегда направлена противоположно движению тела. При изменении направления скорости изменяется и направление силы трения.

Трение покоя — сила, возникающая между двумя контактирующими телами и препятствующая возникновению относительного движения. Эту силу необходимо преодолеть для того, чтобы привести два контактирующих тела в движение друг относительно друга. Она действует в направлении, противоположном направлению возможного движения.

Трение качения — момент сил, возникающий при качении одного из двух контактирующих/взаимодействующих тел относительно другого.

Сила сопротивления — сила, возникающая при движении тела в жидкости или газе (ее называют жидким трением) и действующая на это тело в направлении, противоположном направлению движения.

Мы применяем для решения задач только одну формулу для силы трения- закон Кулона –Амонтона, хотя она совершенно не выполняется в реальных условиях.

Например, мы не учитываем тот факт, что когда мы тянем одно тело по твердой поверхности с постоянной скоростью, движение тела оказывается колебательным, в котором периодически сменяются фазы прилипания и скольжения (по-английски - stick and slip). Такое движение принято называть фрикционными автоколебаниями: фрикционными потому, что они порождены трением (friction), а «авто» потому, что они не навязаны извне какой-либо внешней переменной силой, а являются внутренним свойством системы [2].

Понимание явлений, происходящих в самом начале процесса скольжения одного тела по другому, еще далеко от совершенства. Поэтому изучение адгезионных аспектов силы трения актуально. При изучении силы трения обычно не учитывается явление прилипания смещаемых поверхностей. На рисунках 1 и 2 можно видеть графики зависимости силы трения от внешней силы: рисунок 1, который нам предлагается при изучении силы трения в школьной программе, а справа график 2, учитывающий наличие прилипания, мешающего страгиванию.

В 1902 году Штрибек опубликовал данные, свидетельствующие о том, что при отсутствии смазки сила сопротивления не падает сразу с уровня силы трогания до кулоновой силы, а имеет место постепенное падение силы с ростом скорости - эффект, противоположный гидродинамической вязкости. Этот факт теперь обычно именуется штрибек-эффектом.

Красным овалом на втором рисунке выделен пик, вызванный адгезией и штрибек-эффектом.

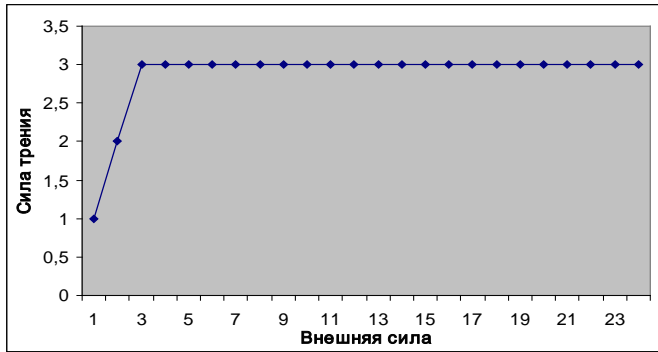


Рис.1 Идеальная зависимость $F_{\text{одддддддд}} (F_{\text{дддддддд}})$
 $F_{\text{одддддддд}} (F_{\text{дддддддд}})$

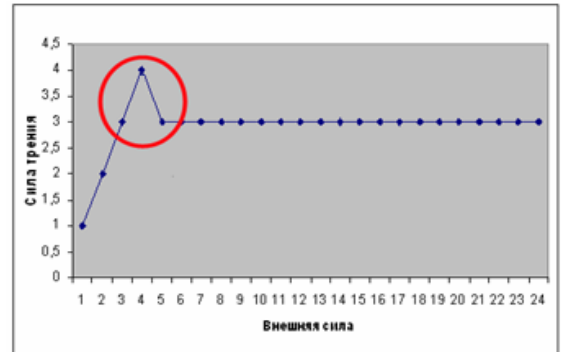


Рис. 2 Реальная зависимость

Адгезия (от лат. adhaesio — прилипание) в физике — сцепление поверхностей разнородных твёрдых и/или жидких тел. Она обусловлена межмолекулярным взаимодействием в поверхностном слое и характеризуется удельной работой, необходимой для разделения поверхностей. В некоторых случаях адгезия может оказаться сильнее, чем когезия, т. е. сцепление внутри однородного материала. Это явление всем знакомо на примере прилипания липкой ленты к бумаге: при попытке ее оторвать, рвется бумага [3].

Наиболее известные адгезионные эффекты — капиллярность, смачиваемость/несмачиваемость, поверхностное натяжение, мениск жидкости в узком капилляре, трение покоя двух гладких поверхностей. Известно, что влияние шероховатости поверхностей соприкосновения на силу трения имеет экстремальный характер: при сглаживании поверхностей сила трения сначала уменьшается, но при дальнейшем сглаживании начинает возрастать из-за адгезии.

Чтобы изучать явление, происходящее за очень короткий промежуток времени, необходимо специальное оборудование и программное обеспечение. У нас в лицее появилось такое оборудование: детекторы силы, расстояния и компьютерная программа «Мультилаб», которая позволяет производить до 10000 замеров в секунду. Это сделало возможным изучение начального этапа процесса скольжения при наличии силы трения. Мое исследование заключается в том, что я выясняю, от каких параметров зависит явление статического трения.

Цель работы:

Исследовать переход от силы трения покоя к силе трения скольжения при различных условиях.

Задачи:

1. Ознакомиться с программным обеспечением «мульти лаб» и его возможностями.
2. Отработать методику измерения и компьютерной обработки данных.
3. Изучить информацию о силе трения.
4. Провести экспериментальные исследования.

Экспериментальная часть.

1. Исследование максимальной силы страгивания.

На горизонтальную исследуемую поверхность (дерево, стекло) помещалось исследуемое тело (деревянный брусок, стеклянная пластинка, отягощенные грузиками), подсоединенное к датчику силы. (Тело смещалось по поверхности вручную через датчик силы). Проводилась непрерывная регистрация силы по времени, данные сохранялись в виде графиков в компьютере. Далее они обрабатывались программой «Мультилаб» и полученные данные заносились в таблицу 1. Программа «Мультилаб» позволяет не только получать развертку силы по времени, но и аппроксимировать графики, увеличивать масштабы для анализа, дифференцировать исследуемую величину, составлять и сохранять таблицы, снимать видео опытов, а также многое другое. Проводилось от трех до десяти повторений каждого опыта для уменьшения случайной погрешности. В таблице приводятся средние значения.

Исследовалась зависимость максимальной силы трения покоя от рода и состояния поверхности, наличия различной смазки (вода, растительное масло), положения центра тяжести, массы тела и площади поверхности. Рассчитывалось отношение максимальной силы трения покоя к силе трения скольжения, а также коэффициент трения скольжения по формуле $\mu = \frac{F_{\text{од}}}{N}$. В качестве движущегося тела использовались деревянный брусок и стеклянная пластинка. В качестве смазки - вода и растительное масло. Причем, в части экспериментов поверхности только смачивались водой, а в других – обильно поливались.

Таблица 1

Результаты экспериментов по определению максимальной силы страгивания и силы трения скольжения

	Тип поверхности	Центр тяжести	m, кг	F _{тр.мах} , Н	F _{тр.сколь.} , Н	$\frac{F_{\text{од.мах}}}{F_{\text{од.пείει}}}$	μ
1	Сухое дерево - сухое дерево	В центре	1.12	3,1	2,6	1,19	0,228
2	Сухое дерево - сухое дерево	Сзади	1.12	3,15	2,6	1,21	0,228
3	Сухое дерево - сухое дерево	В центре	2.12	7,8	4,69	1,84	0,226
4	Смоченное дерево – дерево	В центре	1.12	9,15	6,5	1,41	0,592
5	промокнувшее дерево - дерево	В центре	1.12	9,11	6,2	1,47	0,564
6	промокнувшее дерево - дерево	Сзади	1.12	9,65	6,2	1,56	0,564
7	Промасленное дерево - дерево	В центре	1.12	4,1	2,2	1,86	0,200
8	Сухое дерево - стекло	В центре	1.12	6,15	2,2	2,80	0,200
9	Сухое стекло - стекло	В центре	1.12	3,6	2,6	1,19	0,228
10	Мокрое стекло-стекло	Зависит от плавности увеличения силы тяги. Мах 10; Min 1.25			Мах 11.2 Min 2	0,63-5,00	

Анализ 1,2 и 5,6 строк таблицы показывает, что положение центра масс не влияет на коэффициент трения.

Сравнение сил трения при наличии смазки (или намоченного состояния поверхности) и отсутствии смазки (строки 1-6) показывает, что сила трения деревянного бруска не уменьшается, вопреки ожиданиям. По-видимому, это обусловлено тем, что при наличии на деревянной нелакированной поверхности слоя воды, волокна дерева из-за поверхностного натяжения встают «дыбом», следовательно, сила трения увеличивается.

При опытах со стеклянными поверхностями максимальная сила трения покоя была различна (строка 10) . Это зависело от того, как долго тело находилось в состоянии покоя перед опытом. Если это время было мало, то максимальная сила трения покоя была минимальной, при увеличении времени выдержки максимальная сила трения возрастала. Мы объясняем это влиянием силы поверхностного натяжения воды и эффектами смачиваемости.

2. Исследование штрибек-эффекта и фрикционных колебаний.

Для исключения влияния неравномерности движения датчика силы была сконструирована и собрана установка, состоящая из сосуда с водой, которая переливалась в ведро, связанное с исследуемым телом нитью, перекинутой через блок и привязанной к датчику силы. Этим достигалось равномерное возрастание внешней силы, регистрируемой на графике. Схема установки и пример развертки силы по времени приведены на рисунке 3.

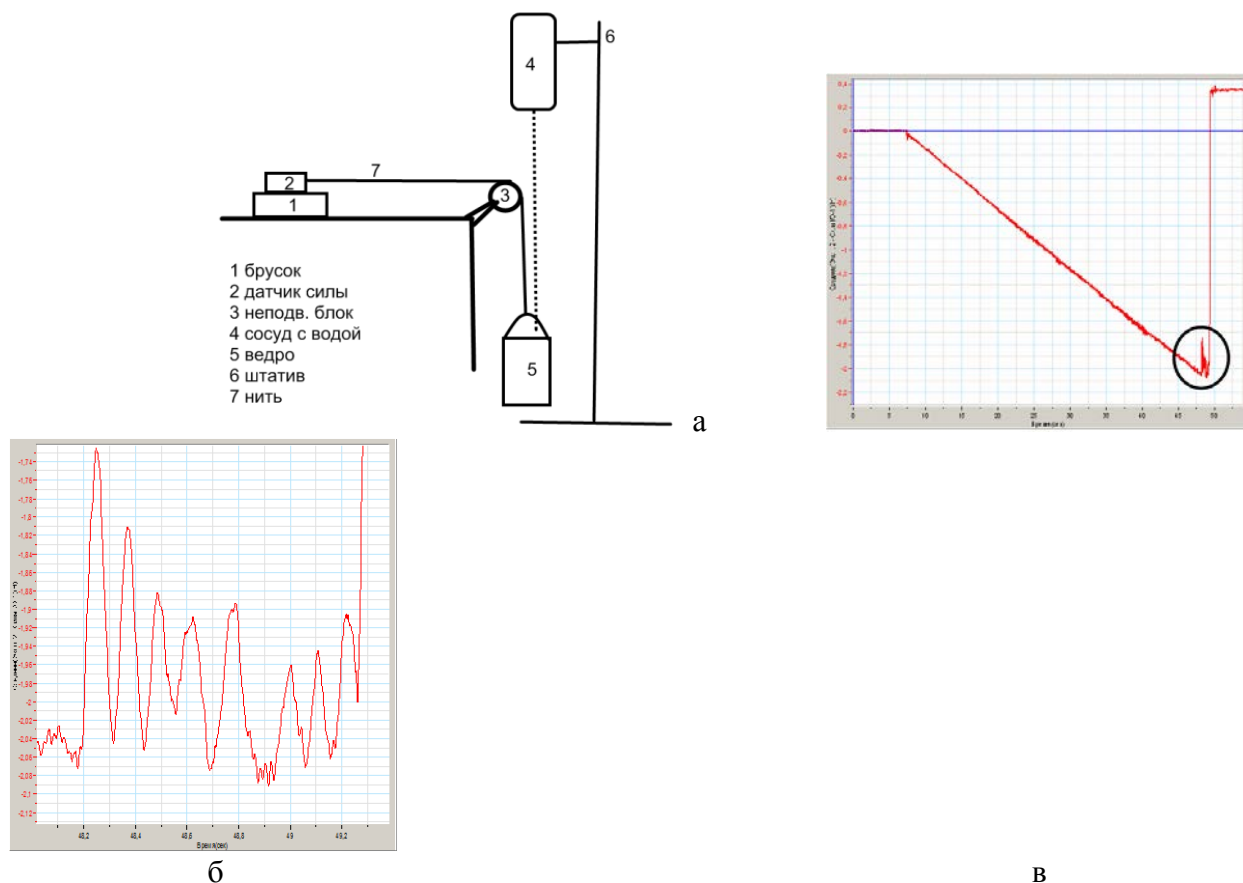


Рис.3. а- схема установки. б- развертка силы по времени. (В овале – переходная область), в – увеличенная переходная область.

Данные, полученные из графиков, заносились в таблицу 2. Погрешность определения силы, даваемая регистратором, составляла 0,05 Н, погрешность регистрации времени составляет 0,012 с. Анализировались следующие параметры: скорость изменения силы до страгивания, максимальная сила трения покоя (сила страгивания), скорость штрибек-эффекта, период фрикционных колебаний, сила трения скольжения, погрешность определения силы.

Таблица 2

Результаты экспериментов по изучению штрибек-эффекта и фрикционных колебаний

№	Тип поверхности	Вес, Н	Макс. $F_{\text{оддйёу}}$ (покоя), Н	$\frac{\Delta F}{\Delta T}$, Н/с (скор. измен. внеш. силы)	$\frac{\Delta F}{\Delta T}$, Н/с (скор. штриб. эф)	Период фрикц. колебаний, с	Сила тр скольж., Н
1	Сухое дерево – дерево	7,7	2.09	0.051	6.8	0.12	1.93
2	Сухое дерево – дерево	12,7	4.76	0.041	14.3	0.15	4.12
3	Сухое дерево – дерево	12,7	5.29	0.029	12.8	0.15	4.12
4	Смоченное водой дерево – дерево	12,7	6.84	0.044	4.4	0.16	6.74
5	сухое дерево по лакированному дереву	12,7	5.35	0.038	12.4	0.15	5.02
6	дерево по лакированному дереву, смазка-вода	12,7	5,25	0.041	14.9	0.14	5.21
7	Металл-металл		7.35	0.039	33.8	0,90	5.82
8	Металл-металл, смазка		5.75	0.043	6.8	0.15	5.39

7- сталь никелированная по металлу, покрытому алюминиевой краской, без смазки,

8- сталь никелированная по металлу, покрытому алюминиевой краской, с водяной смазкой.

Сравнение данных первой и второй строк показывает, что увеличение веса (силы реакции опоры) приводит к увеличению скорости штрибек-эффекта и периода фрикционных колебаний (даже при незначительном уменьшении скорости изменения внешней силы).

Из второй и третьей строк следует, что уменьшение скорости изменения внешней силы ведет к уменьшению скорости штрибек-эффекта.

Анализ второй и четвертой строк подтверждает полученную ранее зависимость максимальной силы трения покоя и силы трения скольжения от наличия водной смазки на деревянной поверхности (они увеличиваются). Скорость штрибек-эффекта при этом уменьшается примерно в три раза. Наличие смазки уменьшает скорость штрибек-эффекта и для металлов (строки 7 и 8). Здесь этот эффект даже еще значительнее. Анализ фрикционных колебаний для сухой металлической поверхности оказался затруднительным ввиду наличия нескольких мод колебаний.

Выводы:

Данная работа имеет теоретический и практический интерес, так как расширяет знания о силе трения и эффектах, связанных с адгезией. Механические свойства материалов во многом определяются их структурой на микро- и наноуровне. В данном случае- структурой поверхностных слоев соприкасающихся тел. Все исследования проведены самостоятельно, так как они не представляют опасности. Результаты исследования могут быть использованы в учебном процессе.

Для решения поставленных задач были использованы современные технологии получения и обработки информации. Создана и апробирована оригинальная экспериментальная установка, позволяющая исключить человеческий фактор в эксперименте.

Была поставлена и достигнута цель- исследование процесса перехода от состояния покоя к скольжению при вариации параметров: положения центра масс, веса тела, состояния поверхности, наличия смазки, скорости изменения внешней силы.

Выяснено, что максимальная сила трения покоя зависит от следующих параметров:

- 1) От рода поверхности и массы тела.
- 2) От наличия смазки
- 3) От смачиваемости поверхностей.

От площади поверхности и от положения центра тяжести сила трения не зависит.

Исследован штрибек-эффект и фрикционные колебания, которые невозможно было бы исследовать другими методами. Обнаружено, что наличие смазки уменьшает скорость штрибек-эффекта. На период фрикционных колебаний влияет вес тела: период растет с увеличением веса.

Литература.

1. Справочник для абитуриентов.

<http://www.edu.yar.ru/russian/projects/socnav/prep/phis001/dyn/dyn11.html>,

2. Первозванский А.А. Трение- сила знакомая, но таинственная.

<http://www.abitura.com/collection/trenie.html>

3. Физическая энциклопедия. http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/27/Адгезия,

4. Ненахов С.А. Адгезия <http://www.penta-91.ru/adhesion.htm>,

<http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1167181>.

ПРИЛОЖЕНИЕ



Фотография экспериментальной установки

Сведения об авторе.

Исмуков Егор Николаевич- ученик 11 Г класса МАОУ «Лицей №3» г. Чебоксары.

Занимается научно-исследовательской работой по физике с восьмого класса. С работами о солевых грелках и способах их изготовления занял призовые места на нескольких НПК, в том числе получил диплом второй степени на всероссийском конкурсе «Первые шаги», призовые места на городских НПК (г. Чебоксары) и республиканских (Чувашская Республика) НПК.

Самостоятельно разработал и создал экспериментальную установку, позволяющую исключить человеческий фактор при действии силы на тело, движущееся по поверхности другого. Самостоятельно освоил методику работы с детекторами и программой «Мультилаб».



Егор за работой.