

М. А. БРОНОВЕЦ, И. В. КРАГЕЛЬСКИЙ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СМЕЩЕНИЕ ПРИ УДАРЕ И СЦЕПЛЕНИЕ КОЛЕС ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

(Представлено академиком А. А. Благодоровым 22 I 1973)

Явление предварительного смещения состоит в тангенциальной деформации зоны контакта под действием внешней силы. Оно возникает при начале относительного скольжения или качения твердых тел. Наличие предварительного смещения при скольжении открыто в 1926 г. А. В. Верховским⁽¹⁾ и И. Ренкиным⁽²⁾. Позже были проведены глубокие исследования трения качения⁽³⁾ и А. В. Верховским в 1947 г. установлено наличие предварительного смещения также при качении⁽⁴⁾. Одним из авторов настоящей статьи совместно с Н. М. Михиным в 1963 г. и Н. Б. Демкиным в 1969 г. показано, что величина предварительного смещения может быть определена аналитически^(5, 6).

Предварительное смещение играет важную роль в технике. В режиме предварительного смещения осуществляется работа ведущих и тормозных колес транспортных машин. При этом по мере увеличения скорости движения возрастает частота колебаний неподрессоренных масс, а продолжительность контактирования уменьшается, что приводит к уменьшению неполной силы трения и, как следствие, возрастанию степени проскальзывания колеса.

Несмотря на это до сих пор никем не была предпринята попытка исследования этого явления в условиях удара в связи с рядом экспериментальных трудностей. Однако, используя законы механики и основные положения молекулярно-механической теории трения, можно выявить закономерности предварительного смещения при ударе. Для этой цели нами использован импульсный метод определения фрикционных и механических свойств материалов⁽⁷⁾.

В настоящей работе использовались два варианта испытаний. Первый из них — неподвижная дорожка — состоит в том, что тело вращения (шар и автомобильное колесо), раскрученное вокруг горизонтальной оси до соответствующей угловой скорости в зависимости от требуемой тангенциальной скорости взаимодействия, падает с высоты, определяемой заданной нормальной скоростью удара, на поверхность неподвижного контртела. При соударении на тело вращения действуют одновременно нормальный и тангенциальный импульсы и оно отскакивает под углом к горизонту. Коэффициент трения определяется как отношение (тангенциального к нормальному) импульсов по параметрам траектории отскока.

Второй вариант испытаний — бегущая дорожка — осуществляется падением под собственным весом шара на движущуюся в горизонтальной плоскости поверхность, представляющую собой торец вращающегося диска. Требуемая тангенциальная скорость удара обеспечивалась заданной угловой скоростью диска и выбором расстояния от оси его вращения до места соударения.

В опытах применялись шары диаметром 8, 10 и 12,7 мм из стали ШХ-15 с твердостью HRC=60–62, имеющие шероховатость поверхности $\nabla 11$ и $\nabla 13$. При соударении шары деформировались упруго, а образцы материалов испытывали упруго-пластические деформации. Перед испы-

таниями соударяемые поверхности очищались бензином и четыреххлористым углеродом.

Колеса исследовались с пневматической шиной 155-330 модели ИЛ-151, применяемой на автомобиле ВАЗ-2101. При проведении экспериментов рабочая поверхность колеса и исследуемая поверхность дорожного покрытия промывались водопроводной водой.

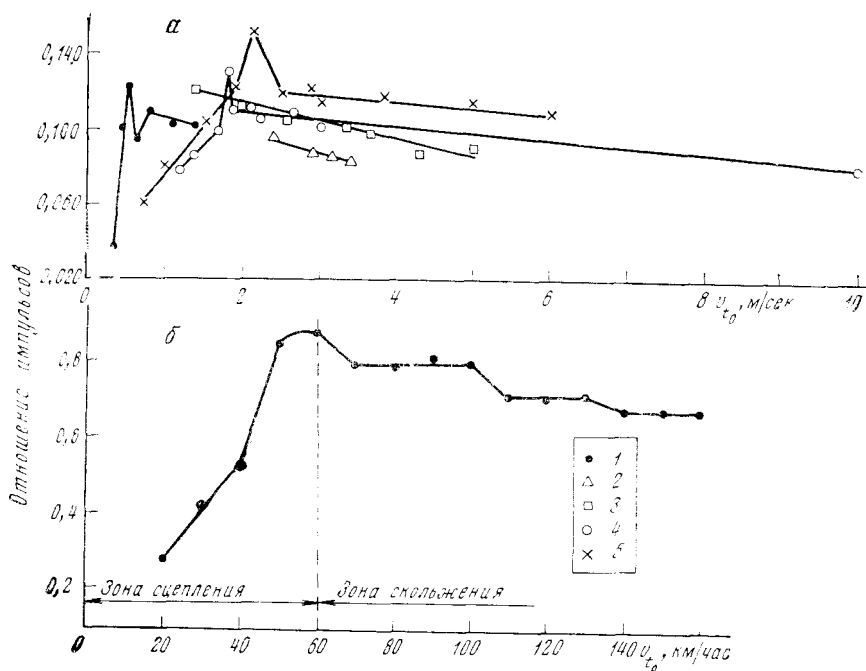


Рис. 1. Зависимость отношения импульсов от тангенциальной скорости удара. 1 - Сталь 45, ∇ 10; шар $\varnothing=10$ мм, ∇ 11; 2 - бронза ВБР-5, ∇ 10; шар $\varnothing=10$ мм, ∇ 11; 3 - Сталь 45, ∇ 10; шар $\varnothing=12,7$ мм, ∇ 13; 4 - Сталь 38 ХМЮА, ∇ 8; шар $\varnothing=8$ мм, ∇ 11; 5 - Сталь 38 ХМЮА, ∇ 10; шар $\varnothing=8$ мм, ∇ 11

Результаты экспериментов по соударению шаров с массивными металлическими образцами в зависимости от тангенциальной скорости удара представлены в табл. 1 и на рис. 1а. Данные табл. 1 и кривые 1, 2 и 3 относятся к варианту испытаний «неподвижная дорожка». Кривые 4 и 5 получены по схеме соударения «подвижная дорожка». Нормальная скорость удара в обоих вариантах составляла 3,13 м/сек. Данные табл. 1 содержат результаты соударения шара $\varnothing=10$ мм, имеющего шерохова-

Таблица 1

Зависимость отношения импульсов от тангенциальной скорости удара

№№ пп	Тангенциальная скорость удара, м/сек	Отношение импульсов	Вид взаимодействия	Относительное перемещение, мкм
1	0,31	0,038	Предварительное смещение	3,2
2	0,42	0,103		4,3
3	0,49	0,125		5,0
4	0,62	0,094	Удар заканчивается скольжением	6,3
5	0,78	0,109		8,0
6	1,04	0,105		10,6
7	1,30	0,105		13,3

тость поверхности V11, с образцом из стали 45, не подвергавшейся термообработке. Плоская исследуемая поверхность образца полировалась и имела класс чистоты V10. Динамическое давление при пластическом деформировании составляло 243 кг/мм².

Соударение шаров по варианту «неподвижная дорожка» производилось с дисками различной шероховатости, выполненных из закаленной стали 38ХМЮА.

Из табл. 1 видно, что в области сцепления по мере увеличения тангенциальной скорости удара наблюдается рост отношения импульсов. Это обусловлено увеличением предварительного смещения. Предельная его величина составляет 5 мкм и достигается при тангенциальной скорости 0,49 м/сек. За период соударения тангенциальная скорость уменьшается на 0,03 м/сек. При тангенциальной скорости удара выше 0,49 м/сек обнаруживается скачкообразное снижение отношения импульсов, которое характеризует границу перехода от предварительного смещения к скольжению.

Как следует из рис. 1, граница перехода является функцией свойств материалов и шероховатости контактирующих тел. Кривая 5 показывает, что максимальное значение отношения импульсов, находящихся в области предварительного смещения, составляет величину 0,150 и получено при $v_{t0} = 1,99$ м/сек. Следующее измеренное значение составляет 0,120 при $v_{t0} = 2,27$ м/сек и находится на участке скольжения. В указанном интервале скоростей расположена граница перехода от предварительного смещения к скольжению для указанной пары материалов.

В зоне скольжения при увеличении тангенциальной скорости имеет место постепенное снижение коэффициента трения (рис. 1).

На рис. 1б показана скоростная характеристика отношения импульсов при взаимодействии колеса с сухим асфальтобетонным покрытием. Нормальная скорость удара составляла 2,32 м/сек (при этой скорости площадь контакта равна отпечаткам, получаемым при нормальной нагрузке на автомобильное колесо). Хотя эшора касательных сил при взаимодействии колеса с дорогой носит сложный характер и на площади контакта имеются области с различным направлением действия элементарных касательных сил, явление предварительного смещения сохраняет закономерности также применительно к взаимодействию колеса с дорожным полотном. Граница перехода к скольжению соответствует тангенциальной скорости удара 60 км/час. В области скольжения наблюдается уже отмеченное нами по экспериментам с соударением шара снижение величины коэффициента трения по мере увеличения тангенциальной скорости. Последнее обстоятельство известно из натуральных измерений коэффициента трения колес автомобиля по сухим дорожным покрытиям.

Схематически наличие областей сцепления и скольжения может быть представлено следующим образом (рис. 2). При тангенциальной скорости удара $\omega_0 R$ относительное перемещение тел в контакте за период соударения составляет величину $AB = \omega_0 R t$. Если обозначить предварительное смещение через δ , то в зависимости от тангенциальной скорости удара возможны два варианта взаимодействия: когда $\omega_0 R t < \delta$, имеет место предварительное смещение; если $\omega_0 R t > \delta$, удар заканчивается скольжением.

Таким образом, 1) экспериментально зафиксировано предварительное смещение при ударе и определена граница перехода к скольжению. Предварительное смещение при ударе (как при скольжении, так и при качении) подчиняется общим закономерностям контактной касательной де-

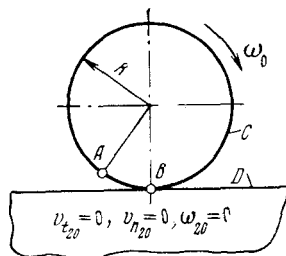


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая предварительное смещение при ударе

формации материалов. Переход к скольжению сопровождается как и в случае статического трения скачкообразным снижением коэффициента трения.

2) При сухом трении в области скольжения по мере увеличения тангенциальной скорости соударения коэффициент трения уменьшается, стремясь к некоторому пределу.

3) Реализуемый коэффициент сцепления колес транспортных машин в ведущем и тормозящем режимах вследствие колебаний неподрессоренных масс в большой мере обусловлен величиной их предварительного смещения при ударе. Поскольку величина коэффициента сцепления при постоянной скорости проскальзывания колеса пропорциональна времени соприкосновения, на коэффициент сцепления оказывает влияние частота колебаний неподрессоренных масс.

Институт проблем механики
Академии наук СССР

Поступило
18 I 1973

Государственный научно-исследовательский
институт машиноведения
Москва

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. В. Верховский, Журн. прикл. физ., т. 3, в. 3-4, 311 (1926). ² I. S. Rankin, Phil. Mag., v. (8) 2, 806 (1926). ³ А. Ю. Ишлинский, Прикл. матем. и мех., Нов. сер., т. 2, в. 2, М., 1938. ⁴ А. В. Верховский, Изв. Томск. политехнич. инст., т. 61, в. 1 (1947). ⁵ И. В. Крагельский, Н. М. Михин, ДАН, т. 153, № 1 (1963). ⁶ Н. Б. Демкин, И. В. Крагельский, ДАН, т. 186, № 4 (1969). ⁷ М. А. Броновец, И. В. Крагельский, Импульсный метод определения фрикционных и механических свойств материалов, М., 1972.