

ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

ТРИ

ТРЕНИЕ И ИЗНОС

*

МАЯ—ИЮНЬ

ТОМ VII

3

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

МИНСК
«НАУКА И ТЕХНИКА»
1986

УДК 621.891

В. В. ПЕТРОВ, А. В. СЛАДКОВСКИЙ

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ МИКРОСКОЛЬЖЕНИЯ НА КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КАТЯЩИХСЯ ЦИЛИНДРОВ

Процесс изнашивания контактирующих поверхностей при перекатывании цилиндрических тел является многофакторным, и интенсивность его зависит от ряда физических явлений. При качении цилиндров под воздействием тягового усилия, не превышающего критического для данной пары, наряду с усталостным разрушением, пластическим формоизменением, адгезией существенный вклад в процесс изнашивания вносит явление микроскольжения. Для изучения этого явления потребовалось создание принципиально нового лабораторного комплекса, основным ядром которого стала установка, состоящая из устройства для нагружения радиальным усилием, приспособления для задания тягового момента и приспособления для задания угловых скоростей колес.

На рис. 1 показана схема нагружения. Цилиндры *I* и *II* радиусами R_1 и R_2 соответственно прижимаются совместно сжимающим усилием P и могут, перекатываясь, вращаться относительно осей O_1O_1 и O_2O_2 с угловыми скоростями ω_1 и ω_2 . Колеса (цилиндры) также могут быть нагружены моментом M , приложенным к осям O_1O_1 и O_2O_2 . Таким образом, на схеме колесо *I* является ведомым, а колесо *II* — ведущим.

Установка предназначена для работы при переменном моменте и сжимающем усилии. Если рассматривать процесс нагружения от нуля и не учитывать тяговый момент, то при приложении сжимающего усилия P образуется площадка контакта или пятно контакта, форма которого может быть различной в зависимости от взаимного расположения цилиндрических образцов. Если оси образцов параллельны и поверхность качения их представляет собой идеальный цилиндр, то в процессе нагружения пятно контакта изменяется от линейного до прямоугольного. Если оси образцов расположены под углом, то форма пятна может быть различной — близкой к треугольной (по всей длине контакта или нет), трапециевидной. При этом возникает неравномерность в распределении контактных напряжений, что влечет за собой большие погрешности в физических измерениях механических характеристик процесса качения.

Известен ряд установок и машин, предназначенных для моделирования процесса качения. Установки, описанные в работах [1—4], наиболее подходят по конструктивному решению для изучения эффекта микроскольжения при перекатывании цилиндрических тел. Однако устранить недостатки (нерегулируемое взаимное расположение образцов и отсутствие контроля формы пятна контакта) данных устройств не представляется возможным.

Таким образом, для улучшения качества моделирования процесса качения и расширения функциональных возможностей была создана установка для изучения микроскольжения на контактных поверхностях

с оригинальным устройством для нагружения радиальным усилием [5]. На рис. 2 изображена схема устройства. Устройство работает следующим образом: цилиндрические образцы 7 вместе с опорными стойками 2, крепящимися к основанию 1, имеют возможность поворачиваться относительно осей 3, прижимаясь друг к другу, и перекатываться совместно при вращении валов 6 в подшипниковых узлах 5. Сжатие образцов осуществляется при помощи тягового приспособления. Ходовым винтом 13, соединенным с упорным подшипником 14 и динамометром типа ДОСМ-3-5 15, каретка 12 отжимается от упорной плиты 11. Каретка 12 соединена с парой секторов 8, а упорная плита 11 тягами 10 — с секторами 9; таким образом, перемещение каретки 12 вызывает растяжение тяг 10 и сжатие цилиндрических образцов 7, на которые передается усилие через подшипниковые узлы 5 от действия на них секторов 8 и 9.

Нагружающие сектора 8 и 9 выполнены таким образом, что их радиус равен радиусу

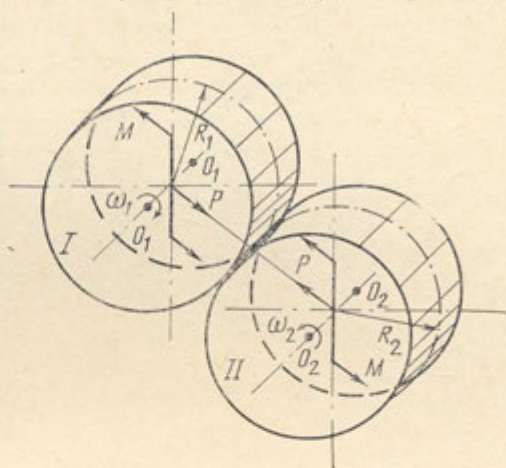


Рис. 1. Схема нагружения цилиндрических образцов

внешней поверхности подшипниковых узлов. В результате вследствие проскальзывания между секторами 8, 9 и подшипниковыми узлами 5 в процессе нагружения происходит выставление осей образцов и точное направление усилий по прямой ввиду совместного стягивания образцов.

Регулировка формы пятна контакта осуществляется гайками тяг, а также при помощи поворота опорных стоек с цилиндрическими образцами вокруг вертикальной оси опор регулировочными болтами 4. Непосредственная подготовка эксперимента по качению проводилась в два этапа: 1) регулировка — выставляется форма пятна контакта при помощи регулировочных болтов 4 и каждой тяги, работающей отдельно; 2) нагружение — все четыре тяги работают совместно при помощи тягового приспособления. Таким образом, производя гайками тяг и болтами 4 регулировку, можно выставить требуемую форму пятна контакта и далее вращением ходового винта 13 производить одновременную догрузку всех тяг, что не изменяет формы пятна, так как тяги осуществляют взаимное стягивание центров образцов.

Форма и величина пятна контакта определялись несколькими способами. В том случае, если хотя бы одно из колес выполнено из прозрачного материала (применялся полистирол повышенной прозрачности), можно подсветкой высветить пятно и визуально определить форму и величину площадки контакта. В общем случае форма площадки определяется методом отпечатков. При ненагруженных цилиндрах в контактную зону помещалась копировальная бумага, которая при последующем нагружении и разгрузке оставляла след на одном из колес. Отпечатки исследовались под микроскопом. Более качественные отпечатки получались, если на одно из колес наносился тонкий слой краски. Ширина

зоны изменялась до 20 мм для жестких материалов колес (полистирол, текстолит), причем определялась с точностью до 0,2—0,5 мм.

Сжимающее усилие определялось следующим образом. На каждую из четырех тяг 10 наклеивалась пара тензорезисторов типа 2ФКПА-20-200ГВ, соединенных последовательно. После тарировки тяг прессом на растяжение и подключения датчиков по мостовой схеме к четырехканальной тензостанции ТА-5 каждая тяга работала как тензодинамометр. Величина радиального сжимающего усилия достигала $3,14 \cdot 10^4$ Н. При малых осевых усилиях ($< 1,96 \cdot 10^3$ Н) суммарное усилие замерялось при

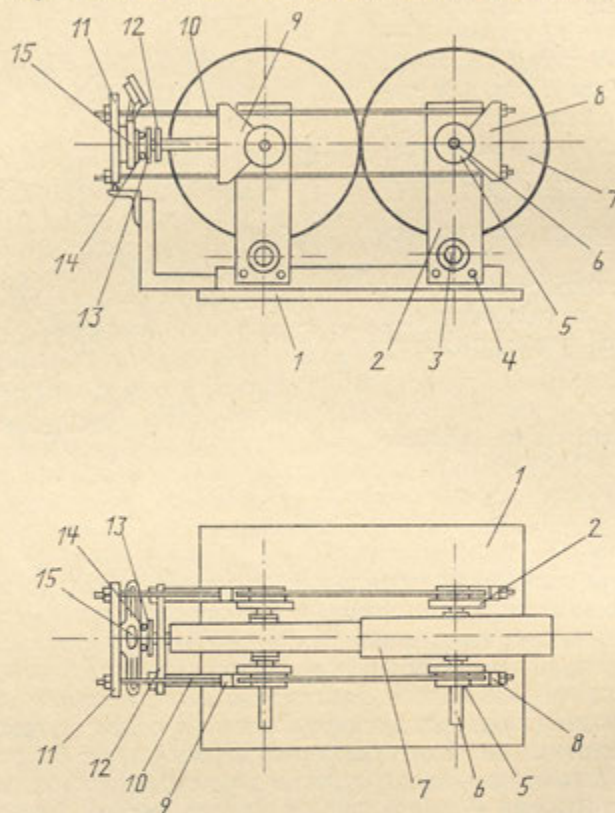


Рис. 2. Схема устройства для нагружения радиальным усилием

помощи динамометра 15. При этом работа тяг как тензодинамометров позволяла более точно регулировать нагружающее устройство.

Для осуществления стационарного качения при наличии касательного усилия на контакте в состав установки включается приспособление для создания тягового момента. На рис. 3 изображена его схема, где цилиндрические образцы показаны штриховыми окружностями. На основании установки закрепляется рама приспособления 8, к верхней части которой приварены салазки 7. Червячный редуктор 6 соединен с салазками 7 «ласточкинским хвостом» и имеет возможность перемещаться по их направляющим. Кулисы 2 и 9 насажены на валы цилиндрических образцов. Момент M , приложенный к образцам, возникает от действия груза 1, подвешенного к тросу 3, который соединен с кулисой 2 через блок 4. Кроме того, кулисы 2 и 9 соединены тросом 5, который пропущен через вал червячного редуктора 6. При намотке троса 5 на вал редуктора 6 происходит стягивание кулис 2 и 9 и поворот колес — каче-

ние в направлении действия момента или против него. В силу фрикционного взаимодействия на валу с кулисой 9 возникает противомoment. Таким образом, при вращении червяка редуктора 6 происходит плавное перекачивание цилиндрических образцов под действием постоянного тягового момента $M = P_{\text{тр}} R_{\text{к}}$. Максимальный тяговый момент, создаваемый на установке, равен $9,8 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Для осуществления свободного качения или качения с заданными угловыми скоростями использовалось приспособление для задания угловых скоростей колес. На рис. 4 изображена схема приспособления. После нагружения цилиндрических образцов усилием P каретка 3 выставляется в горизонтальном направлении, после чего стойка 1 болтами прижимается к основанию устройства. Вращением винта 2 устанавливается такая высота каретки 3, что ее зубчатая пара 4 входит в зацепление с шестернями 5, после чего данное положение винта фиксируется штифтами 6. Привод вращения колес осуществляется через один из валов каретки 3.

На установке для изучения явления микроскольжения на контактной поверхности катя-

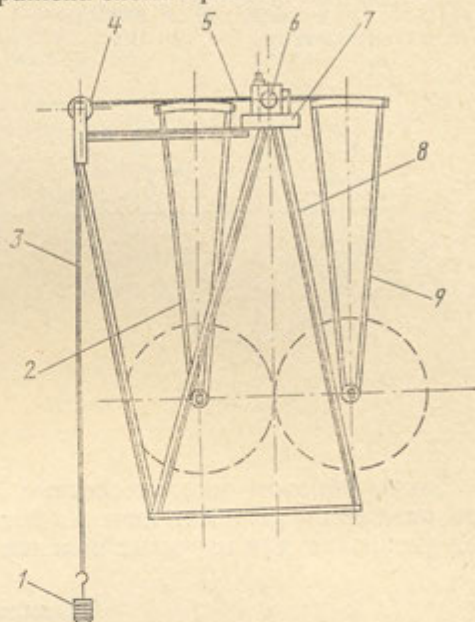


Рис. 3. Схема приспособления для создания тягового момента

щихся цилиндров исследовались колеса из полимерных материалов (полистирол, текстолит, резина) большого диаметра (100—500 мм) различной толщины ($h = 30 \div 100 \text{ мм}$). В соответствии с новой экспериментальной методикой [6] малобазовые фольговые тензорезисторы наклеивались непосредственно на контактную поверхность гуммированных

колес. При помощи комплекса измерительной аппаратуры фиксировались деформации поверхности колеса при качении. На рис. 5 приведены характерные деформационные кривые для качения колесной пары резина—резина при различных тяговых усилиях. В случае

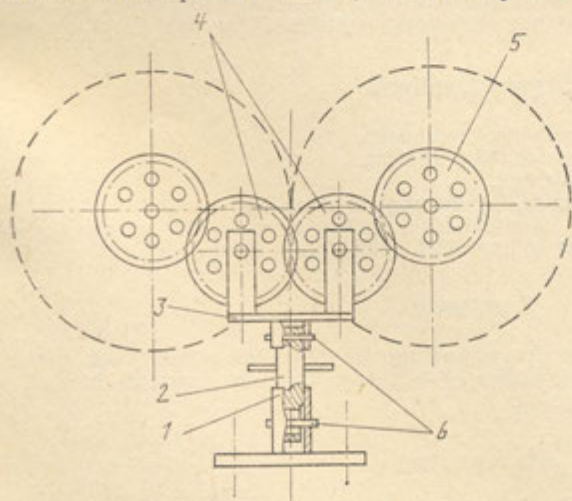
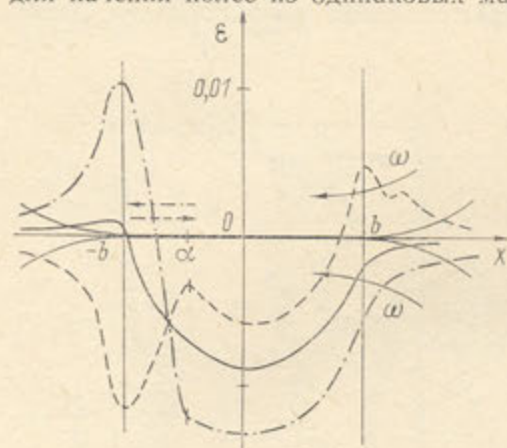


Рис. 4. Схема приспособления для задания угловых скоростей колес

свободного качения ($M=0$, сплошная кривая) зоны относительного проскальзывания поверхностей отсутствуют, вся площадка контакта представляет собой зону сцепления. На деформационных кривых для ведомого и ведущего колес показаны точки раздела зон сцепления и проскальзывания. Стрелками отмечено направление относительного скольжения в зонах проскальзывания. В результате исследований была подтверждена справедливость двухзонной гипотезы микроскольжения для качения колес из одинаковых материалов. Для качения колес, ма-



териал одного из которых на порядок жестче материала другого (например, пара качения полистирол—резина), возможно существование трех зон микроскольжения: одной зоны сцепления в центре контактной площадки и двух зон проскальзывания у краев.

Рис. 5. Характерные деформационные кривые для пары качения резина—резина: штриховая линия — ведомое колесо; сплошная — свободное качение; штрихпунктирная — ведущее колесо

Таким образом, многочисленные экспериментальные исследования при различных режимах качения показали эффективность использования установки для изучения явления микроскольжения.

Обозначения

R_1, R_2 — радиусы колес; P — сжимающее усилие; M — тяговый момент; ω_1, ω_2 — угловые скорости колес; $P_{гр}$ — вес груза; R_k — радиус дуги кулисы; h — толщина колеса.

Nomenclature

R_1, R_2 — radii of the wheels; P — compressing load; M — thrust torque; ω_1, ω_2 — angular velocities of the wheels; P_{gp} — load weight; R_k — radius of the link arc; h — wheel thickness.

Figure Captions

- Fig. 1. Scheme of loading the cylindrical specimens.
 Fig. 2. Scheme of the installation for radial loading.
 Fig. 3. Scheme of the thrust torque unit.
 Fig. 4. Scheme of the unit for controlling the angular velocities.
 Fig. 5. Characteristic curves of deformation for contact of the rubber wheels: dashed line — driving wheel; solid line — free rolling; dash-dotted line — driven wheel.

Summary

The new laboratory installation for estimating the effect of microslip on contact surface of rolling elastic cylindrical bodies is described. Microslip occurrence in various conditions of stationary rolling is studied.

Литература

1. Пинегин С. В., Шевелев И. А., Гудченко В. М. и др. Влияние внешних факторов на контактную прочность при качении. — М.: Наука, 1972. — 106 с.

2. Дымковский В. П. Тяговые характеристики фрикционных передач с колесами из различных материалов.— В кн.: Применение бесступенчатых передач в тракторах и сельхозмашинах. М.: Машгиз, 1963, с. 41—46.

3. Моссаковский В. И., Петров В. В., Тимченко И. П. Автоматизированная установка для динамического контактного нагружения.— В кн.: Автоматизация экспериментальных исследований. Днепропетровск: ДГУ, 1973, с. 18—22.

4. А. с. 343190 (СССР). Установка для испытания на контактную усталостную прочность материалов / В. С. Порохов.— Оpubл. в Б. И., 1972, № 20.

5. А. с. 991253 (СССР). Устройство для исследования трения цилиндрических образцов / В. И. Моссаковский, В. В. Петров, А. В. Сладковский.— Оpubл. в Б. И., 1983, № 3.

6. Моссаковский В. И., Петров В. В., Сладковский А. В. Определение зон микроскольжения при стационарном качении цилиндров.— В кн.: Гидроаэромеханика и теория упругости. Днепропетровск: ДГУ, 1981, вып. 28, с. 35—45.

*Днепропетровский государственный университет
им. 300-летия воссоединения Украины с Россией*

04.05.85.