

А. С. БУЯЛО, В. И. КВОЧКА, В. В. МАЛЬЦЕВ, В. Н. ЛАВРЕНЧИК,
Б. П. ЛОБАШЕВ, Э. А. МОТОВИЛОВ, М. И. СМОРОДИНОВ, В. В. ШВАРЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ И АБРАЗИВНЫХ СВОЙСТВ ЛУННОГО ГРУНТА

(Представлено академиком А. Ю. Ишлинским 30 III 1971)

Настоящее исследование фрикционных и абразивных свойств выполнено на грунте, доставленном советской автоматической станцией «Луна-16», а также на грунтах-аналогах: мелкораздробленном базальте и андезито-базальтовом вулканическом песке. (В публикациях результатов исследования образцов лунных пород, добытых американскими экспедициями, имеются лишь отрывочные данные⁽¹⁾.)

Исследования проводились на установке ТОР-1⁽²⁾ в среде химически чистого гелия и в вакууме при температуре 20°С. В качестве контртел были выбраны конструкционные материалы, используемые при изготов-

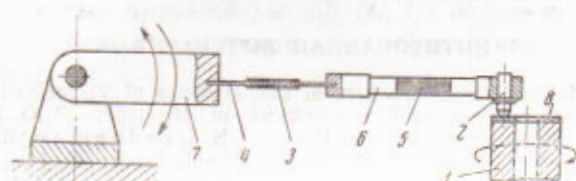


Рис. 1

лении деталей технических устройств, контактирующих с лунным грунтом. Группа неметаллических контртел включала натуральную резину с капроновым кордом, капроновый эластик, фенилоновую ткань, силиконовую резину и др. Группа металлических контртел была представлена магниевым и титановым сплавами, дюралюминием, нержавеющей сталью, конструкционной сталью 3 и твердым сплавом ВК8. Была разработана специальная методика исследований, при которой контртела взаимодействовали с тонким слоем частиц мелкодисперсного грунта, прочно закрепленных на торцевой поверхности металлического образца. Корректность выбранной методики была подтверждена серией контрольных опытов, в которых горные породы использовались как в виде монолитных образцов, так и в виде порошков, закрепленных на металлических пластинках. При этом расхождение в величинах коэффициентов трения по контртелу из монолита и порошка, нанесенного на металлическую пластинку, не превышало 5—7%. Дюралюминиевые цилиндрические образцы для закрепления грунта имели диаметр 2,2 см и высоту 2,0 см. Одна из торцевых поверхностей покрывалась тонким слоем эпоксидной смолы, на которую после просеивания через сито с величиной ячейки 0,2 мм наносился слой лунного вещества или его аналога. На изготовление одного образца расходовалось 70—100 мг вещества. Лунный грунт наклеивался на торцевые поверхности цилиндров в среде гелия в рабочей камере прибора.

Контртела представляли собой цилиндры диаметром 0,8 см, одна сторона которых была заточена в виде усеченного конуса с площадкой диаметром 0,3 см. При работе с неметаллическими образцами контртела аналогичной формы изготавливались из дюралюминия с последующей наклейкой на торцевую поверхность соответствующего материала.

Эксперименты по определению коэффициентов трения выполнялись с использованием измерительного узла, представленного на рис. 1. Цилиндры 1 с тонким слоем исследуемого материала 8 укреплялись в центральной

части прибора при помощи механизма захвата и приводились во вращение электродвигателем. Контртело 2 прижималось к образцу балочкой 4. Нагрузка и сила трения фиксировались датчиками 3 и 5, наклеенными на балки 4, 6. Узел трения был размещен на поворотном кронштейне 7. Питание полумостов и усиление разбаланса датчиков осуществлялось усилителем САНЧ-7М.

Эксперименты проводились при удельных нагрузках до 2 кг/см² со скоростью трения до 2 см/сек. Непрерывная запись нагрузки и силы трения велась одновременно на двух электронных самописцах ПС-1. На ряде пар проверялось также влияние нагрузки в диапазоне от 100 до 500 г на величину коэффициента трения. Во всех случаях максимальное отклонение от среднего значения не превышало 10%.

В табл. 1 приведены значения коэффициентов трения в среде химически чистого гелия.

Абразивные свойства лунного грунта и его аналогов определялись по потере в весе металлического (дюралюминиевого) образца и по степени помутнения поверхности пластинок органического стекла, трущейся по вращающейся торцевой поверхности цилиндра с закрепленными частицами грунтов. Исследование абразивности по потере в весе образца проводилось на узле трения, показанном на рис. 1. Вместо контртела в тензометрический рычаг встраивалась державка с шаровой пяткой, обеспечивающей самоустановку дюралюминиевого образца в процессе опыта.

Металлический образец выполнялся в виде усеченной полусферы с шаровым подпятником. Затем тщательно промытый и обезжиренный образец взвешивался на аналитических весах с точностью до 0,1 мг. Истирание велось в течение пяти минут при нагрузке 500 г и скорости скольжения 10 см/сек. После этого образцы вынимались из камеры и вновь взвешивались на аналитических весах. В табл. 2 приведены результаты, из которых видно, что абразивные свойства вулканита и рассмотренных грунтов-аналогов близки между собой.

Оценка абразивности по второй методике осуществлялась, как и в первом случае, в среде гелия, с помощью приспособления (рис. 2), устанавливаемого на приборе ТОР-1. Образец 4 с нанесенным слоем вещества устанавливался в зажиме 5. Пластина 2 из органического стекла, крепившаяся в пазах кронштейна 3, фиксировалась в определенном положении и

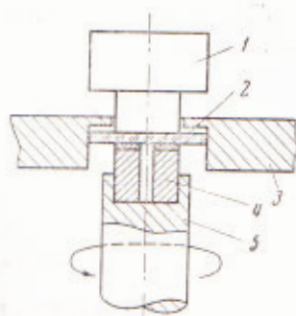


Рис. 2

Таблица 1

Контртело	Вещество			Примечание
	лунный грунт	базальт дробленый	песок андезитово-базальтовый	
Резина натуральная	0,5	0,50	0,65	Виден износ
Капроновая ткань, эластик	0,40	0,40	0,55	Интенсивно изнашивается
Фенилон	0,50	0,45	0,60	То же
Резина натуральная ЗОРП	0,55	0,50	0,60	Видны следы износа
Силиконовая резина	0,55	0,50	0,60	Износа нет
Кожа натуральная	0,40	0,50	0,45	Виден износ
Магнийевый сплав	0,30	0,20	0,30	Интенсивно изнашивается
Дюралюминий	0,45	0,25	0,40	Видны следы износа
Титановый сплав	0,35	0,30	0,30	Износа нет
Нержавеющая сталь	0,25	0,25	0,25	» »
Конструкционная сталь 3	0,30	0,25	0,30	» »
Твердый сплав ВК8	0,30	0,40	0,30	» »

Таблица 2

Горные породы	Вес образца, мг		Изнас, мг	Кoeffи- циенте трения
	первоначаль- ный	после испытания		
Лунный грунт	832,4	828,7	3,7	0,5
Базальт дробленый	819,4	815,4	4,0	0,5
Андезит-базальтовый вулканический песок	810,7	806,6	4,1	0,55

прижималась к рабочей поверхности цилиндра грузом I в 1,4 кг. Эксперимент длился 30 сек при скорости скольжения 10 см/сек.

Помутнение поверхности пластинок определялось по пропусканию света. Установка состояла из осветителя (неон-гелиевый лазер ЛГ-75) и оптической системы, создававшей параллельный пучок света диаметром 2,5 см. Выделенный диафрагмой пучок падал перпендикулярно на полированную грань пластинки из органического стекла. Рассеянный на шероховатой поверхности пластинки свет выделялся в телесном угле $d\Omega$, соответствующем плоскому углу в 1° , при помощи специальной линзы и диафрагмы и измерялся посредством фотоумножителя ФЭУ-27 и микроамперметра М-95. Для обеспечения работы фотоумножителя на линейном участке люкс-амперной характеристики интенсивность лазерного пучка ослаблялась светофильтрами. Абразивные свойства исследованного вещества оценивали коэффициентом пропускания в телесном угле и определяли для каждого из трех образцов из соотношения $k = (I/I_0) \cdot 100\%$, где I и I_0 — фототоки, вызванные световым потоком, прошедшим через замутненную поверхность пластинки и падающим на пластинку соответственно. Средние значения коэффициентов $k(\%)$ со средними квадратичными отклонениями оказались для лунного грунта $4,5 \pm 0,2$; для андезит-базальтового вулканического песка $4,8 \pm 0,1$; для базальта $4,4 \pm 0,6$.

Полученный по второй методике показатель абразивности лунного грунта, как и в случае использования первой методики, близок к соответствующему показателю его аналогов.

Поскольку истирающая способность вещества в существенной мере зависит от микротвердости его частиц, нами были проведены измерения микротвердости частиц лунного грунта и его аналогов при комнатной температуре. Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3 в соответствии с ГОСТ 9450—60 при нагрузке на индентор 100 г.

Для измерений отобрали частицы с размерами около 1 мм, которые помещали в специальную формочку и заливали эпоксидной смолой. После отвердевания смолы окончательную доводку шлифа осуществляли с помощью абразивных кругов и паст синтетических алмазных порошков. Готовые шлифы тщательно обезжировали. Были получены следующие средние значения микротвердости в кг/мм²: лунного грунта 800 ± 6 ; базальта 800 ± 4 ; андезит-базальтового вулканического песка 710 ± 7 .

Таким образом, величины микротвердости частиц лунного грунта и базальта в пределах полученной точности измерения совпадают, андезит-базальтовой вулканический песок имеет меньшую микротвердость.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт оптико-физических измерений
Научно-исследовательский институт
оснований и подземных сооружений

Поступило
10 III 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Science, 167, № 3918, (1970). ² М. П. Дрожжина, В. В. Дымов и др., ДАН, 199, № 5 (1971).