

Д. Н. ГАРКУНОВ и И. В. КРАГЕЛЬСКИЙ

ВЛИЯНИЕ ОТНОШЕНИЯ ВЕЛИЧИН ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ
И ТВЕРДОСТЕЙ НА УСЛОВИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ КОНТАКТИРУЕМЫХ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 11 VI 1953)

В сочленении, образованном скользящими поверхностями, имеющими разные твердости H и размеры площади трения S , целесообразно различать следующие условия, связанные с расстановкой материалов:

- 1) $H_1 > H_2; S_1 < S_2;$
- 2) $H_1 < H_2; S_1 < S_2.$

Первый случай, соответствующий скольжению более твердой поверхности меньшего размера по мягкой поверхности большего размера, будем условно называть «прямой парой трения», второй случай — «обратной парой трения». На рис. 1 приведены прямые и обратные пары для узлов при поступательном движении (а и в) и вращении (б).

Для изучения величин сил трения и повреждения поверхностей при расположении материалов по прямой и обратной паре нами были проведены эксперименты на специальном приборе*, в котором между двумя параллельными короткими цилиндрическими образцами сжимается перпендикулярно им расположенный третий длинный образец (см. рис. 2).

Протягивая длинный образец между короткими на разрывной машине, можно зафиксировать график путь — сила трения. Были испытаны следующие прямые пары: медь — алюминий; сталь — алюминий; сталь — хромированная сталь и обратные пары: алюминий — медь; алюминий — сталь и хромированная сталь — сталь. Первым в паре указан материал коротких образцов, вторым — длинного. С целью устранения влияния на результаты испытаний окислов, масляных пленок и различных загрязне-

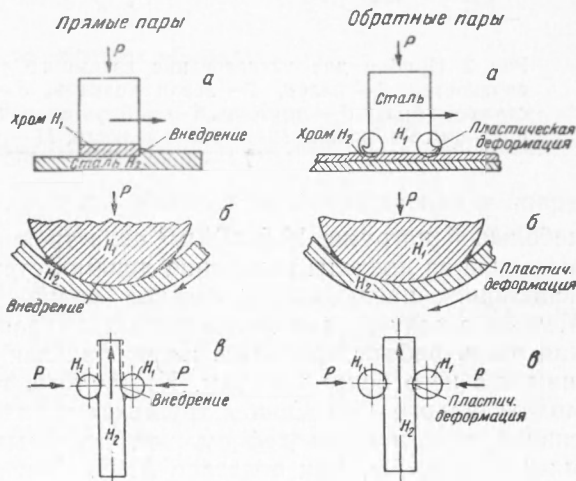


Рис. 1. Прямые и обратные пары. а, в — для поступательного движения, б — для вращательного движения

* Прибор предложен для изучения схватывания металлов И. В. Крагельским и Б. И. Костецким. Конструктивно оформлен Д. Н. Рукиным.

ний, образцы $d = 12$ мм промывались в бензине, зачищались наждачной шкуркой и острым шабером. Эксперименты можно проводить также на приборе С. Я. Вейлера, Л. А. Шрейнер и П. А. Ребиндера (1), в котором нормальное давление создается упругостью U-образного зажима, из которого вытягивается образец.

Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Анализируя результаты испытаний прямых пар, можно заметить, что наибольшей силой трения обладает пара медь — алюминий. Даже при

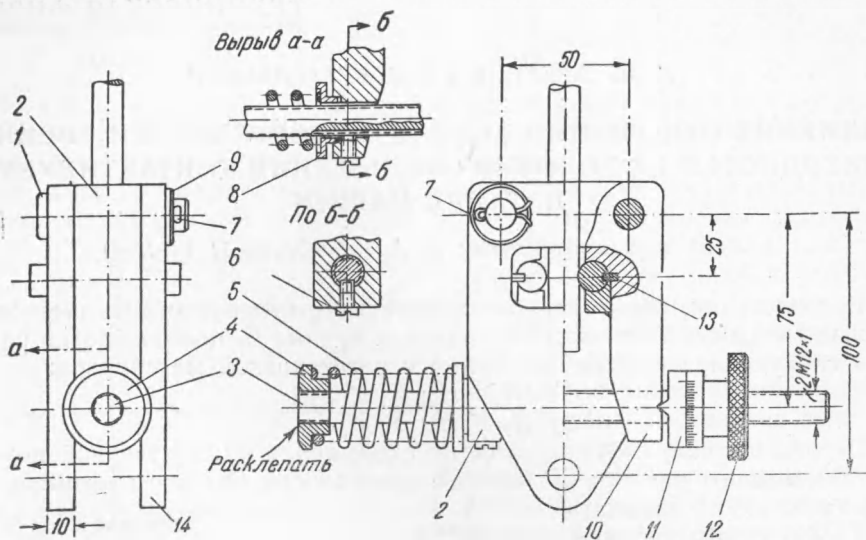


Рис. 2. Прибор для исследования взаимного расположения трущихся поверхностей. 1 — палец, 2 — левая челюсть, 3 — стяжной болт, 4 — головка стяжного болта, 5 — пружина, 6 — винт установочный, 7 — шплинт, 8 — шайба пружины, 9 — шайба, 10 — правая челюсть, 11 — шайба с призмой, 12 — гайка, 13 — шпонка, 14 — щека

небольшой нагрузке $12,5 \text{ кг/мм}^2$ сила трения повышалась настолько, что выходила за пределы измерения динамометра (свыше 500 кг). При этих испытаниях наблюдалось сильное повреждение поверхностей трения. Меньшую силу трения имела пара хромированная сталь — сталь. Основная часть работы тратилась на пропихивание мягкого образца внедрившимся в него более твердым. Кроме того, трение возрастало вследствие молекулярного схватывания трущихся металлов, возникающего от интенсивной пластической деформации, непрерывно протекающей в объеме мягкого образца. Как показано А. П. Семеновым (2), значительная пластическая деформация поверхностных слоев благоприятствует схватыванию в связи с освобождением поверхности от пленок и разрыхления искаженной решетки. Если силы молекулярного схватывания металлов были больше, чем прочность одного из трущихся металлов, то это приводило к повреждению менее прочного металла.

Обратные пары по сравнению с прямыми показали меньшие силы трения и повреждения поверхностей. В этом случае при движении мягкого образца вдоль твердого повреждение образцов происходило на весьма небольшую величину, мягкий образец не внедряется в твердый, а расплющивается. Последующее скольжение не связано с интенсивной пластической деформацией объема, как это наблюдалось в первом случае. В связи с этим интенсивность глубинного вырывания значительно уменьшается. Из обратных пар наименьшую силу трения показала пара сталь — хромированная сталь. Различие в величине силы трения прямой

Таблица 1

Материал образцов	Нагрузка на образцы в кг	Площадь контакта в мм ² *		Уд. нагрузка в кг/мм ²		Макс. сила трения в кг	Работа трения на пути в 30 мм в кг·мм
		нач.	конечн.	нач.	конечн.		
Медь — алюминий	3,3	0,66	12,0	5,0	0,2	417	1069
	9,1	0,71	13,3	12,8	0,7	>500	—
	18,8	1,16	14,3	16,2	1,13	>500	—
Алюминий — медь	3,3	0,66	2,7	5	1,2	25	72
	18,8	1,17	11,9	12	1,0	133	378
	33,6	2,8	17,1	12	1,9	228	506
	80,2	6,4	32,2	12,5	2,5	395	1558
Сталь — алюминий	3,3	0,8	5,7	4,2	0,6	109	496
	9,1	1,0	7,1	8,7	1,3	181	409
	18,8	2,0	19,6	9,3	1,0	424	1440
Алюминий — сталь	3,3	0,8	2,5	4,2	1,3	16	55
	18,8	2,0	6,4	9,3	2,9	69	227
	33,6	3,3	8,3	10,2	4,1	110	270
	80,2	6,1	10,9	13,2	7,4	158	459
Сталь хромированная — сталь	18,8	0,1	0,2	100	94	18	63
	33,6	0,3	1,4	156	24	44	196
	80,2	0,6	2,8	188	28,6	240	365
	162,4	1,0	3,8	250	42,7	480	2390
Сталь — сталь хромированная	18,8	0,188	1,4	100	13,4	12	47
	33,6	0,215	1,6	150	21	22	68
	80,2	0,427	2,64	188	30,4	73	348
	162,4	0,706	3,3	230,3	49,7	95	449

* Определялась по отпечатку на коротких образцах.

и обратной пары убедительно может быть выявлено из графиков путь — сила трения. На рис. 3 приведены такие графики для пары алюминий — сталь и сталь — алюминий.

Полученный вывод о том, что для уменьшения силы трения и повреждения поверхностей необходимо, чтобы более мягкая поверхность с меньшей площадью трения скользила по твердой поверхности, был подтвержден нами на другой экспериментальной установке — машине трения АЕ-5, работающей по принципу трения торцев 3 цилиндрических образцов о торец вращающегося диска. При испытании на трение стальных цилиндрических образцов о сравнительно мягкий стальной диск (прямая пара, см. рис. 1 а) было установлено, что эта пара выдерживает незначительные нагрузки до заедания. При испытании же на трение стальных цилиндрических образцов о хромированный диск (обратная пара рис. 1 а) нагрузка до заедания возросла более чем в 15 раз. На рис. 4 представлены продольные сечения стального образца по передней и задней кромке после работы его по хромированному диску (рис. 1 а).

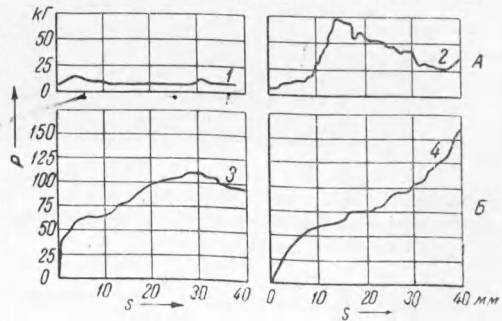


Рис. 3. График путь — сила трения для пары алюминий — сталь (А) и сталь — алюминий (Б). 1 — $P_{сж}=3,3$ кг, $P_{уд}=4,23$ кг/мм²; 2 — $P_{сж}=18,8$ кг, $P_{уд}=9,3$ кг/мм²; 3 — $P_{сж}=3,3$ кг, $P_{уд}=4,2$ кг/мм²; 4 — $P_{сж}=9,1$ кг, $P_{уд}=8,7$ кг/мм²

Как видно из фотографий, как на передней, так и на задней кромке образца образовались заусенцы вследствие пластического течения поверхностного слоя. При трении хромированных образцов о стальной диск пластического течения хромового слоя не происходило, что приводило к взаимному внедрению поверхностей трения, повышенным коэффициентам трения и заеданию металлов при незначительной перегрузке.

Величины износов металлов в приработанном состоянии, расположенных по прямой и обратной паре, в условиях небольших удельных нагрузок изучены В. С. Радчиком⁽³⁾.

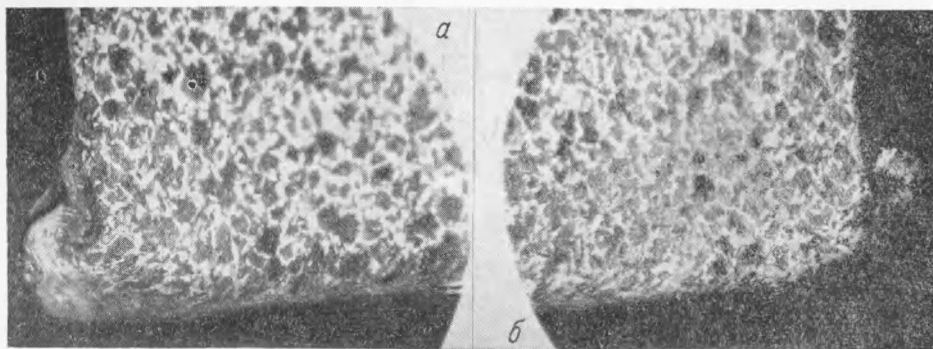


Рис. 4. Продольный разрез стального образца после испытания. *a* — передняя кромка, *б* — задняя кромка

Проведенные исследования показали, что уменьшение силы трения и повреждения поверхности при высоких нагрузках в узлах трения зависит не только от правильного выбора трущихся металлов, но и от расположения их в сочленении. Наиболее выгодным в этом отношении является расположение металлов по обратной паре, когда более мягкая поверхность с меньшей площадью трения скользит по твердой поверхности. Таким образом, при расстановке металлов в сочленении, наряду с общепринятыми положениями (условия прочности, ремонта, конструктивные и технологические соображения), необходимо учитывать отношения величин поверхностей трения и твердостей контактируемых деталей машин.

Поступило
9 V 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Я. Вейлер, Л. А. Шрейнер, П. А. Ребиндер, ДАН, 73, № 3 (1950).
² А. П. Семенов, ДАН, 86, № 1 (1952). ³ В. С. Радчик, Тезисы докладов Киевской научно-технической конференции по вопросам повышения износостойкости и срока службы машин, Киев, 1952.