

наз. силой трения. Т. в.—диссипативный процесс, сопровождающийся выделением тепла, электризацией тел, их разрушением и др. [2].

Различают Т. в. скольжения и Т. в. качения. Характеристика первого — коэф. Т. в. скольжения f_c — безразмерная величина, равная отношению силы Т. в. к нормальной силе, прижимающей тела друг к другу; характеристика второго — коэф. Т. в. качения f_k , представляет собой отношение момента Т. в. качения к нормальной силе (имеет размерность длины). Для характеристики данной пары Т. в. необходимо указать внеш. условия (нагрузку, скорость, шероховатость, темп-ру, смазку), к-рые влияют на величину Т. в. не меньше, чем природа трущихся тел.

Трение скольжения. Если внеш. тангенциальная сила, лежащая в плоскости соприкосновения двух тел, недостаточна для скольжения одного тела по поверхности другого, то возникающая при этом сила сопротивления движению наз. неполной силой Т. в.; она вызвана малыми (~микрометров) частично обратимыми перемещениями в зоне контакта, величина к-рых пропорц. приложенной силе и изменяется с увеличением последней от 0 до нек-рого макс. значения, наз. силой трения покоя (или предельной силой трения). Любое превышение внеш. силы над силой Т. покоя вызывает скольжение тела. При этом имеют место необратимые откосит. перемещения, величина к-рых не зависит от тангенциальной силы. Действующая на тело сила сопротивления движению относится к разряду неконсервативных сил.

Вследствие волнистости и шероховатости каждой из поверхностей касание двух твёрдых тел происходит в дискретных областях, т. н. пятнах касания [3]. Пятна касания — это элементарные площадки контакта, возникающие в результате упругих или пластич. деформаций неровностей поверхности соприкасающихся тел. Размеры пятен касания зависят от свойств контактирующих тел и условий нагружения и колеблются в пределах от 1 до 50 мкм. На пятнах касания возникают силы сцепления двух тел (адгезия, хим. связи, взаимная диффузия и др.), т. е. образуются т. н. мостики [4].

При скольжении тел пятна касания мигрируют по поверхности тел. Этот процесс сопровождается объёмным деформированием тонких приповерхностных слоёв. При этом расходуется определ. работа по преодолению сил сцепления на пятнах касания (разрушение мостиков) и на образование новых очагов сцепления. Каждое пятно касания, т. н. фрикционная связь, существует лишь ограниченное время. Продолжительность жизни фрикционной связи — важная характеристика, т. к. определяет темп-ру, развивающуюся при Т. в., износостойкость и др. Т. о., процесс Т. в. представляет собой объёмное деформирование весьма тонких приповерхностных слоёв каждого из тел, изменяющих свои свойства под влиянием окружающей среды [8], сопровождающееся разрушением мостиков между трущимися поверхностями. Объём слоя, втянутого в деформацию, тем больше, чем прочнее фрикционные связи.

В зависимости от характера объёмного деформирования приповерхностного слоя различают Т. в. при упругом и пластич. контакте. С др. стороны, в зависимости от соотношения прочности на срез мостика и прочности нижележащих слоёв материала различают адгезионный сдвиг (разрушение мостика по границе его образования) и когезионный сдвиг (разрушение мостика на нек-рой глубине). Тот или иной вид Т. в. зависит от откосит. глубины внедрения отд. неровностей и тангенциальной прочности мостика.

При определ. условиях Т. в. переходит во внутр. трение, при к-ром в зоне контакта нет скачка скорости при переходе от одного тела к другому. Для жёсткого сферич. сегмента радиусом r , скользящего по пластически деформируемому материалу, это произойдёт, когда $h/r \geq (1/2)(1 - 2\tau/\sigma_s)$, где h — глубина внедрения; τ — сопротивление срезу мостика; σ_s — предел текучести деформируемого материала. Т. к. h зависит от нагрузки и механич. свойств материалов, то для каждой пары Т. в. существует

своя предельная нагрузка, выше к-рой Т. в. нарушается. При нулевой прочности мостика (идеальная смазка) относит. внедрение h/r может достигать 1/2. При $\tau = \sigma_s/2$ внеш. Т. в. невозможно даже при нулевом внедрении. Чем меньше τ , тем с большей вероятностью осуществляется Т. в. Обязательное условие Т. в. — соблюдение правила градиента механич. прочности, согласно к-рому материал должен повышать свою прочность вглубь от зоны контакта. Это осуществляется нанесением разл. защитных плёнок, имеющих малое τ , или смазочных материалов, пластифицирующих тонкие поверхностные слои (эффект Ребиндера) [8], а также размягчением тонкого приповерхностного слоя за счёт теплоты Т. в. В глубоком вакууме Т. в. реализуется с трудом, из-за того что поверхности тел свободны от плёнок и мостики образуются между самими трущимися материалами.

Сила Т. в. определяется двумя группами факторов, как зависящими от нормальной нагрузки P , так и не зависящими от неё. Чаще всего она подчиняется биномиальному соотношению вида $F = A + BP^\chi$, откуда при $A \neq 0$ и $\chi = 1$ получается закон Кулона, а при $A = 0$ и $\chi = 1$ — закон Амонтона. Применяя разл. расчётные модели, получают зависимость силы Т. в. от нагрузки, шероховатости, механич. свойств, прочности мостиков. Напр., для модели шероховатой поверхности в виде системы жёстких сферич. сегментов одинакового радиуса r , вершины к-рых нек-рым образом распределены по высоте (в предположении, что тангенциальная прочность мостиков определяется выражением $\tau = \tau_0 + \beta P_r$, где τ_0 — прочность мостика на срез при отсутствии сжимающей нагрузки, P_r — фактич. давление на контакте, β — коэф. упрочнения мостика), зависимость коэф. Т. в. от откосит. внедрения имеет вид [3]:

$$f_c = \tau_0/P_r + 0,9\beta + 0,55v(v-1)K_1\sqrt{h_k/r}, \quad (*)$$

где K_1 — постоянный коэф.; h_k — глубина внедрения при движении (может быть выражена как ф-ция нагрузки, шероховатости, механич. свойств материалов). Для принятой модели при пластич. контакте $h_k = h_{\max}(2P_r/bP_r)^{1/4}$, где h_{\max} — макс. высота неровности, P_r — контактное давление, P_r обычно принимают равным твёрдости деформируемого материала [3], b и v — характеристики шероховатости поверхности. Первые два члена ф-лы (*) учитывают поверхностные свойства материалов (молекулярная составляющая f_c), последний — объёмные (механич. составляющая f_c). Т. к. обычно $v = 3$, то f_c будет возрастать при увеличении P_r в степени 1/6, т. е. практически оставаться неизменным при увеличении нагрузки. Уровень f_c будет зависеть от значения τ_0 и β . С увеличением P_r , практически равным твёрдости, f_c будет уменьшаться. При упругом контакте, когда $0 \leq P_r \leq c\sigma_s$ (где c — коэф., зависящий от формы внедряющейся шероховатости и упрочнения деформируемого материала), можно ограничиться лишь первыми двумя членами ф-лы (*). При этом f_c будет уменьшаться при увеличении нагрузки, поскольку P_r будет возрастать. При увеличении нагрузки P контакт переходит из упругого в пластич. состояние в нек-рой точке A (рис.), ордината к-рой делит поле графика на зону Кулона (слева) и зону Амонтона (справа). Наиб. трудной задачей теории является расчёт τ [1].

Значит, напряжения и деформации, возникающие на единичных фрикционных связях, приводят к проявлению релаксац. свойств материалов. Поэтому чем больше время неподвижного контакта, тем больше взаимное внедрение контактирующих неровностей и соответственно больше сила Т. в. [2]. Увеличение скорости приложения сдвигающей силы приводит также к росту силы Т. в.

Выделяющаяся при Т. в. теплота способствует протеканию ряда процессов, свя-

