

наклонной прямой (кривой), схватывание маловероятно, если ниже - гарантировано.

Л и т е р а т у р а

1. Гельман А.С. Основы сварки давлением. - М.: Машиностроение, 1970. - 312 с. 2. Самсонов Г.В., Прядко И.Ф., Прядко Л.Ф. Конфигурационная модель вещества. - Киев: Наукова думка, 1971. - 350 с.

УДК 621.981

А.В.Белый, канд.техн.наук (ФТИ АН БССР)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СДВИГА НА ПЯТНАХ ФАКТИЧЕСКОГО КОНТАКТА ПРИ ТРЕНИИ

На контакте твердых тел в процессе трения имеют место упругие и пластические деформации, при этом преобладающими являются схемы сжатия и сдвига. В последние годы наметился определенный прогресс в исследовании моделей локальных контактов с целью детализации происходящих в них явлений. В реальных машиностроительных материалах [1, 2], пластически деформирующихся в диапазоне сдвигающих напряжений ($\tau_0 - k$), характер пластического течения определяется относительной жесткостью материала τ_0/k . При этом пластическая деформация локализуется в линзообразной области, ограниченной параболой, с углом раскрытия $\psi = \arccos \left(\frac{\tau_0}{k} \right)^{\frac{1}{n}}$ (рис. 1). Значение n , полученное на основании изучения распределения максимальных сдвигающих напряжений τ_{max} поляризационно-оптическим методом, равно 2. Привлечение распределения в соответствии с задачей о сжатии диска сосредоточенными силами дает значение $n = 3$. Полученные результаты справедливы для контакта одинаковых материалов и при наличии бесконечного концентратора напряжений. Рассмотрим примеры распространения полученных соотношений на различные случаи протекания сдвига.

В случае контакта шероховатых поверхностей имеем дело с концентраторами напряжений конечной величины, определяемыми углом наклона шероховатостей, и область пластической деформации определяется разомкнутой линзой (рис. 1), эффективный размер которой

$$L^* = L \frac{\pi}{\pi - \theta_1 - \theta_2}.$$

Профилометрирование поверхностей твердых тел, обработанных различными способами [3], показало, что максимальное значение наиболее вероятного угла наклона шероховатостей реализуется при чистовом шлифовании и составляет величину порядка $9-10^\circ$. Ясно, что в таком случае при расчете напряженно-деформированного состояния ошибка, связанная с пренебрежением конечностью концентратора, не превышает нескольких процентов.

Вместе с тем наиболее точное описание топографии реальной поверхности достигается в модели иерархии шероховатостей [4], простирающейся вплоть до шероховатостей атомарных размеров. Шероховатости высоких порядков малости могут характеризоваться существенно большими углами наклона даже в случае

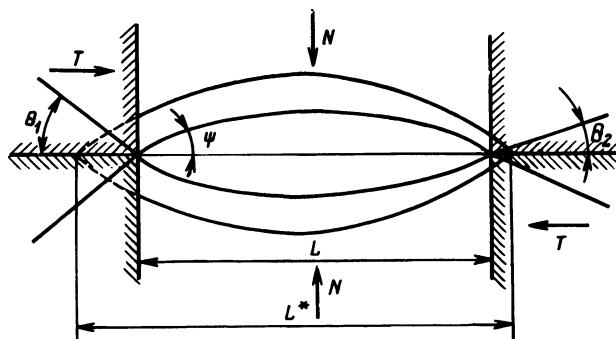


Рис. 1. Очаг пластического течения на пятне фактического контакта:
сплошные линии – случай бесконечного концентратора;
штриховые – с учетом конечного значения величины концентратора.

хорошо обработанных поверхностей. Процессы фрикционного переноса материала на различных уровнях рассмотрения также могут приводить к различным результатам – выглаживание поверхностей путем смятия выступов и заполнения впадин или образования вырывов и наростов с развитием эксплуатационной шероховатости. Огрубление поверхности под действием фрикционного переноса проявляется при исследовании в пространственных интервалах, сравнимых с размерами частиц переноса. Величину этого размера можно оценить, например, исходя из результатов [5].

Схемы рис. 1 предполагают равенство механических характеристик контактирующих материалов, что является типичной ситуацией в условиях развитого адгезионного взаимодействия и переноса материала или при формировании третьего тела в зоне

контакта, локализирующего в себе пластические деформации. Более общий случай связан со взаимодействием двух материалов, характеризуемых значениями τ_{01} ; τ_{02} ; k_1 ; k_2 . При $\tau_{01} < \tau_{02}$; $k_1 < k_2$ приходим к предельному случаю взаимодействия жесткого штампа с пластичным полупространством, а в деформируемом теле произойдет возрастание приращения деформаций γ'_{\max} в соответствии с зависимостью

$$\gamma'_{\max} = \arctg(2 \operatorname{tg} \gamma_{\max}),$$

где γ_{\max} - приращение деформаций в главной плоскости сдвига.

В общем случае для анализа контактного взаимодействия разнородных материалов представляется продуктивным рассмотрение сдвигообразования в неравноценных полях линий скольжения [6]. В случае $\tau_{01} < \tau_{02} < k_1$ приходим к совместному деформированию тел с неравномерным вкладом каждого из них в накопление деформаций. В соответствии с теорией течения в неравноценных полях линий скольжения в системе координат "отношение перемещений" - "отношение максимальных сдвигающих напряжений" в двух неравноценных очагах деформации для тел с параметрами $(\tau_0 - k)$ при возрастании отношения напряжений до k/τ_0 отношение перемещений растет по кривой, приближающейся асимптотически к ординате k/τ_0 . За этой ординатой остаточная деформация накапливается только в одном поле, во втором - ее нет.

Используя обозначения рис. 2, можем записать:

$$l_1 = l \frac{2k_2 - k_1 - \tau_{02}}{2(k_2 - \tau_{02})}; \quad l_2 = \frac{1}{2} \frac{k_1 - \tau_{02}}{k_2 - \tau_{02}};$$

$$\gamma'_{\max} = \arctg\left(\frac{2l_1}{l} \operatorname{tg} \gamma_{\max}\right); \quad \gamma''_{\max} = \arctg\left(\frac{2l_2}{l} \operatorname{tg} \gamma_{\max}\right).$$

На рис. 3 (кривые 1, 2, 3) показаны схемы деформации волокна соответственно при $k_1 = k_2$; $\tau_{02} > k_1$; $\tau_{02} < k_1$.

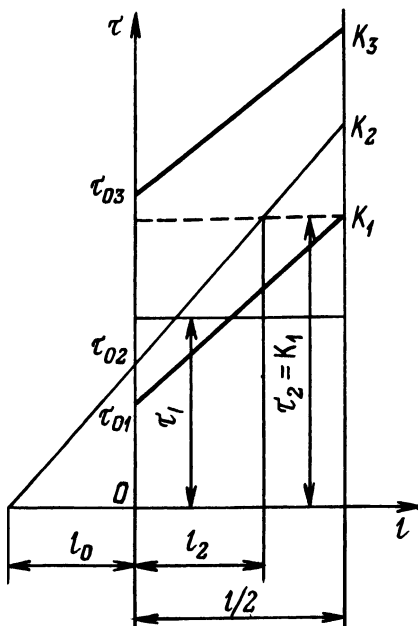


Рис. 2. Схема к обоснованию напряженно-деформированного состояния при контакте разнородных материалов.

Аналогично рассчитывается накопление деформаций при наличии разрыва скорости за счет третьего тела с сопротивлением τ_c . В случае $\tau_c < \tau_{01}$ остаточной деформации в твердых телах нет, при $\tau_{02} > \tau_c > \tau_{01}$ она развивается в одном теле, при $\tau_c > \tau_{02} > \tau_{01}$ - в обоих. Для последнего случая легко записать:

$$\gamma'_{\max} = \arctg \left(\frac{\tau_0 - \tau_{01}}{\kappa_1 - \tau_{01}} \operatorname{tg} \gamma_{\max} \right);$$

$$\gamma''_{\max} = \arctg \left(\frac{\tau_0 - \tau_{02}}{\kappa_2 - \tau_{02}} \operatorname{tg} \gamma_{\max} \right).$$

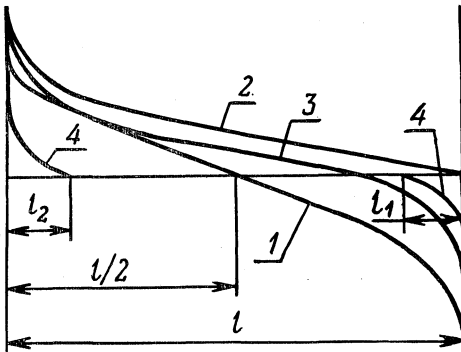


Рис. 3. Схема деформации волокна при контакте разнородных материалов:
 1 - $\kappa_1 = \kappa_2$; 2 - $\tau_{02} > \kappa_1$; 3 - $\tau_{02} < \kappa_1$;
 4 - $\tau_c > \tau_{02} > \tau_{01}$.

Последний случай изображен на рис. 3 кривой 4. Полученные соотношения соответствуют линейному упрочнению рассматриваемых материалов, которые легко обобщаются на более сложные случаи.

Л и т е р а т у р а

1. Макушок Е.И., Калиновская Т.В., Белый А.В. Масперенос в процессах трения. - Минск: Наука и техника, 1978. - 272 с.
2. Analysis of Stress-Strain State in the Neighbourhoods of Actual Contact Spots During Friction / E.M. Macushok, T.V. Kalynovskaya, A.V. Bely, D.J. Dmitrovich. - 3-rd International Tribology Congress Eurotrib, 21-24 September, 1981, v. 1/A, p. 233-240.
3. Демкин Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. - М.: Наука, 1970. - 228 с.
4. Archard J. Elastic Deformation and Laws of Friction. - Proc. Royal. Soc., 1957, A 243, p. 190-205.
5. Rabinovich E. Practical Uses of the Surface Energy Criterion. - Wear, 1964, 7, 1, p. 9-22.

6. Теоретические основыковки и горячей объемной штамповки/ Е.М.Макушок, А.С.Магусевич, В.П.Северденко, В.М.Сегал. - Минск: Наука и техника, 1968. - 408 с.

УДК 621.774.372:621.9.048.6

С.Н.Винерский, инженер (БПИ)

СНИЖЕНИЕ ТРЕНИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ТРУБ НА НЕПОДВИЖНОЙ ОПРАВКЕ, СОВЕРШАЮЩЕЙ ПРОДОЛЬНЫЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Известно [1], что деформационная зона при обычном волочении на неподвижной цилиндрической оправке включает три участка: осаживания (безоправочного волочения), оправочного волочения и калибровки. Причем силы трения между трубой и оправкой на участках оправочного волочения и калибровки направлены к входу трубы в волоку, препятствуют течению металла и повышают удельные затраты энергии на осуществление процесса.

Рассмотрим волочение трубы при продольных ультразвуковых колебаниях оправки, используя методику [2] для безоправочного волочения.

При движении оправки в направлении волочения в течение времени t_1 (рис. 1), когда колебательная скорость оправки $V_{\text{кол}}$ меньше скорости движения трубы у входа в волоку $V_{\text{вх}} = \frac{V_{\text{вол}}}{\mu_{\text{F}}}$ ($V_{\text{вол}}$ - скорость волочения; μ_{F} - вытяжка по поперечному сечению трубы), между трубой и колеблющейся оправкой будет существовать постоянно действующая сила трения, препятствующая течению металла.

В промежуток времени t_2 (рис. 1); когда $V_{\text{вх}} < V_{\text{кол}} < V_{\text{вол}}$, между трубой и оправкой действуют силы трения, направленные в зоне оправочного волочения как в сторону волочения (положительные силы трения), так и в сторону входа трубы в волоку (отрицательные силы трения), а в зоне калибровки - в сторону, противоположную волочению, как при обычном процессе, без применения ультразвука.

Появление этих сил приводит к изменению напряженного состояния в зоне оправочного волочения, снижению усилия волочения и уменьшению продольных растягивающих напряжений [3].

На третьем участке (рис. 1), когда $V_{\text{кол}} > V_{\text{вол}}$, силы трения на контактной поверхности "труба - оправка" направлены в сторону волочения, а напряженное состояние в очаге деформации соответствует процессу волочения труб на подвижной оправке.