

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

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ КОНТАКТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МАТЕРИАЛОВ С ПОКРЫТИЯМИ

Моделирование реальной поверхности твердого тела слоистой структурой обладает достаточной степенью общности при соответствующем выборе реологических характеристик материалов. Во-первых, окисные и адсорбционные пленки, пластичные смазки, насыщенные дефектами поверхностные слои – все это примеры подобных структур, во-вторых, дискретность контакта также можно рассматривать как наличие слоя с особыми свойствами.

Реальные тела обладают одновременно упругостью, вязкостью и пластичностью. Однако математическое описание реологического поведения среды с учетом перечисленных факторов чрезвычайно сложно. С учетом доминирующих характеристик реологического поведения и условий деформирования можно ограничиться более простыми моделями. В данной работе рассматривается вязко-упругий слой на упругой подложке, что соответствует гипотезе о локализации необратимых деформаций в тонком поверхностном слое. Ряд допущений позволяет значительно упростить выкладки без существенного искажения получаемых результатов. В частности, пренебрежение внедрением шероховатостей в материал покрытия не существенно, если его толщина $H \gg \Delta$, где Δ – величина внедрения шероховатостей. Задача рассматривается как квазистатическая, т. е. решения ищутся в виде стоячих волн, возникающих в движущейся среде. Шероховатости, скользящие по полупространству с покрытием, считаются абсолютно жесткими и предполагается применимость схемы плоской деформации для решения задачи.

В соответствии с [1] при использовании модели Фойхта вязко-упругого поведения покрытия взаимосвязь между напряжениями и деформациями определяется системой дифференциальных уравнений третьего порядка

$$\frac{1}{2\mu} \left(U \frac{\partial}{\partial x_2} + \frac{\mu}{\eta} \right) \sigma_{ij} = \left(U \frac{\partial}{\partial x_2} + \theta \right) \varepsilon_{ij} + \left[\frac{E}{2\mu} \left(U \frac{\partial}{\partial x_2} + \right. \right.$$

$$+ \frac{\mu}{3\eta} (U \frac{\partial}{\partial x_2} + \theta) S_{ij} \epsilon_{kk}, \quad (1)$$

где $\epsilon_{kk} = \epsilon_{11} + \epsilon_{22}$; δ_{ij} - символ Кронекера; η - вязкость; E - модуль упругости; λ, μ - аналоги коэффициентов Ламе для вязко-упругого материала; U - скорость скольжения; x_1 - значение координаты в направлении, нормальном перемещению; x_2 - в направлении перемещения.

Уравнения равновесия имеют вид

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = 0.$$

Поскольку искомые функции должны стремиться к нулю при удалении от чочага деформации, то решение (1) целесообразно проводить методом интегральных преобразований, а именно с использованием преобразования Фурье [2]:

$$I \{ \Phi(x, \rho) \} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \{ \Phi(x, \rho) \} e^{i s \rho} d\rho. \quad (2)$$

Применение (2) позволило перейти к системе уравнений для

смещений ω_i ($\epsilon_{ij} = \frac{1}{2} (\frac{\partial \omega_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \omega_j}{\partial x_i})$) в полных производных, разрешимую по методу Эйлера. Переход к искомым функциям смещений и напряжений осуществлялся преобразованием, обратным (2). Аналогичные уравнения и ход решения справедливы для функций, определяющих напряженно-деформированное состояние в упругой области. В качестве граничных условий использовались следующие: постоянство по сечению индентора величины нормального давления и равномерное распределение в пределах указанного сечения силы трения. Кроме того, предлагалась непрерывность соответствующих компонент напряжений и деформаций на внутренней границе пленки. В связи с громоздкостью получаемых аналитических выражений была составлена программа расчета для ЭВМ ЕС-1020.

Рассмотрим в качестве примера расчета анализ напряженно-деформированного состояния при трении в условиях избирательного переноса. Реологические характеристики сервовитной пленки можно оценить исходя из гипотезы о квазиоживлении материала по мере насыщения его точечными дефектами типа вакансий. В качестве характерного линейного размера индентора бралось типичное для избирательного переноса значение величины пятна контакта, равное 10^{-6} м. На рис. 1 приведены

распределения сдвигающих напряжений в сервоитной пленке меди. Вблизи контактной поверхности реализуется состояние, близкое к гидростатическому сжатию, а максимум сдвигающих напряжений достигается на внутренней границе сервоитной пленки. В работе исследовано влияние твердости основы. Возрастание модуля упругости основы в два раза при переходе от однородного материала приводит к локализации деформационных процессов в области, не превышающей двух поперечных разме-

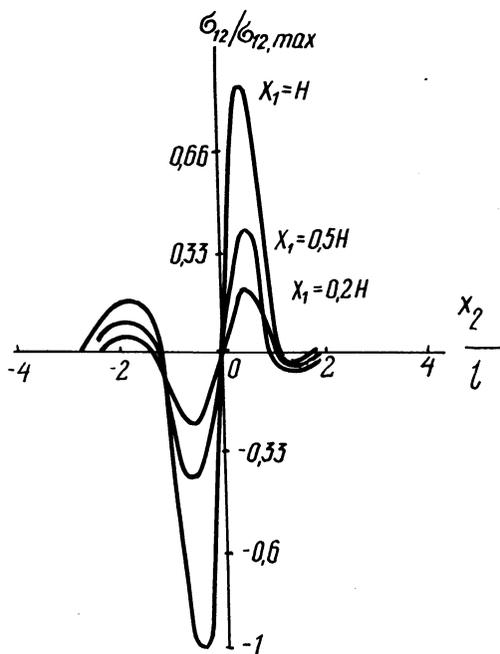


Рис. 1. Распределение сдвигающих напряжений σ_{12} в поверхностных слоях материалов при избирательном переносе; l – размер индентора в направлении движения.

ров пятна касания, что в большинстве случаев значительно меньше расстояния между отдельными пятнами фактического контакта. Переход к более высоким скоростям скольжения приводит к тому же результату, что и уменьшение твердости основы. Результаты анализа позволяют объяснить, в частности, некоторое улучшение фрикционных характеристик материалов, работающих в условиях избирательного переноса, при переходе от мягкой меди к более твердой бронзе $\text{Cu} - \text{Al}$, а также от

нормализованного стального контртела к закаленному, наблюдавшееся в экспериментальных исследованиях.

Л и т е р а т у р а

1. Прочность. Устойчивость. Колебания / Под ред. И.А.Бергера, Я.Г.Пановко. - М.: Машиностроение, 1968, т. 1, с. 132-149. 2. Диткин В.А., Прудников А.П. Интегральные преобразования и операционное исчисление. - Л.: Гос. изд-во физ.-матем. литературы, 1961, с. 11-30.

УДК 621.774.372:621.9.048.6

С.Н.Винерский, инженер (БПИ)

ВОЛОЧЕНИЕ ТРУБ НА САМОУСТАНАВЛИВАЮЩЕЙСЯ ОПРАВКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

В работе приведены результаты исследований по волочению труб на самоустанавливающейся оправке с размещением очага деформации в пучности напряжений от радиальных ультразвуковых колебаний (рис. 1, а) и пучности колебаний стержня резонансной длины (рис. 1, б) в зависимости от вытяжки и скорости волочения.

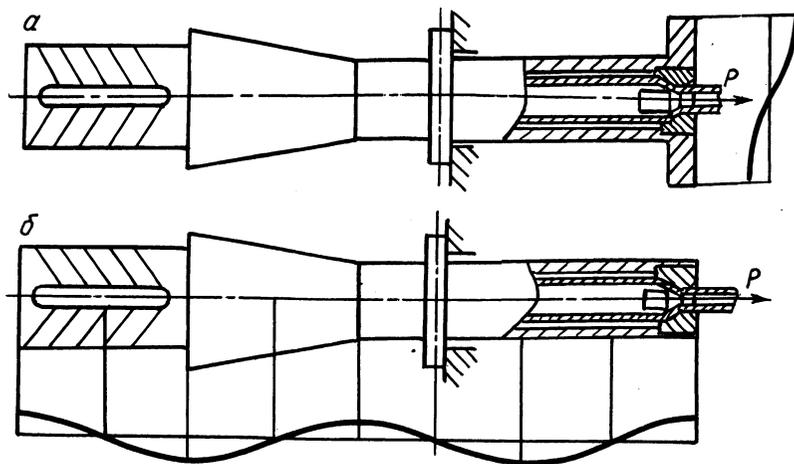


Рис. 1. Схемы волочения труб на самоустанавливающейся оправке:
а, б — соответственно с радиальными и продольными колебаниями волоки.