

УДК 621.7:623.8

Иванов А.А.
аспирант

АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНТАКТИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Перспективным направлением в области научного исследования и прогнозирования повышения эффективности и качества поверхностного деформирования наплавленных покрытий является разработка вопросов механики контактного взаимодействия деформирующего инструмента с покрытием, на основе теории упруго-пластического контактного взаимодействия шероховатых поверхностей, параметры микро-рельефа, твердость и температура которых существенно отличаются.

Начало теории деформации упругих тел в местах контакта на основе использования общих уравнений теории упругости и методов теории потенциала положено работой Г.Герца [1]. В основу всех выводов были положены следующие предположения: материал соприкасающихся тел однороден и изотропен, их поверхности абсолютно гладкие, нагрузки, приложенные к телам, вызывают только упругие деформации, подчиняющиеся законам Гука; площадка контакта весьма мала по сравнению с общими поверхностями соприкасающихся тел; силы давления нормальны к поверхности соприкасающихся тел; силами трения по поверхности пренебрегают.

Теория контакта получила широкое применение в ряде практических задач как рациональная схема расчета, требующая в конкретных случаях уточнения путем введения экспериментальных поправочных коэффициентов. Нелинейный характер зависимости сближения соприкасающихся тел и размеров площадок контакта от величины нагрузки и ряд допущений, положенных в основу теоретических выводов, обусловили появление большого количества экспериментальных исследований деформаций контактирующих тел.

Первое экспериментальное исследование было выполнено Г.Герцем [1]. При сжатии шара и плоскости из одного материала был получен радиус круговой площадки контакта:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \frac{P}{E(1-\mu^2)}}$$

где μ - коэффициент Пуассона; E - модуль упругости; R - радиус шара; P - нагрузка.

В работах Г.Герца [1], А.П.Динника [2], Н.М.Веляева [3] даются выражения для полуосей эллипса площадки контакта и сближения контактирующих тел и максимального контактного напряжения:

$$\begin{aligned} a_0 &= \rho_a \sqrt[3]{\frac{3}{2} \cdot (1 + \mu/K)}; & b_0 &= \rho_b \sqrt[3]{\frac{3}{2} \cdot (1 + \mu/K_2)}; \\ \alpha_c &= \rho_c \cdot 0,5 \sqrt[3]{\frac{9}{4} \cdot I^2 \cdot \rho^2 \cdot K_E}; & q_0 &= \rho_q \cdot 1/\pi \sqrt[3]{\frac{3}{2} \cdot (P \cdot K_2^2 / I^2)}; \\ I &= (1 - \mu^2_1)/E - (1 - \mu^2_2)/E; \end{aligned}$$

где I - упругая постоянная контакта; K_2 - сумма главных кривизн соприкасающихся тел; $\rho_a, \rho_b, \rho_c, \rho_q$ - коэффициенты.

В работах [9,10] в зависимости от формы тел и их взаиморасположения приведены формулы для расчета размеров площадок контакта, величины наибольшего давления между соприкасающимися телами и их сближения. Для учета в расчетах формы контактирующих тел и их взаимного расположения при поверхностном деформировании деталей с наплавленными покрытиями целесообразно их классифицировать на плоские, цилиндрические, сферические поверхности деталей и инструментов, соприкасающиеся до деформации в точке, на отрезке или по площадке.

Опыты по сжатию сферических и цилиндрических поверхностей хорошо подтверждают полученные зависимости [9,10] до тех пор пока нагрузка, примененная к соприкасающимся телам, не приводит к образованию в зоне контакта остаточных деформаций. Между тем контакт реальных поверхностей носит дискретный характер вследствие их волнистости и шероховатости. Рассмотренные идеальные условия контакта не соблюдаются, что затрудняет получение точных решений.

Работы по исследованию контактного взаимодействия тел носят экспериментальный характер, а теоретические расчеты возможны только при условии идеализированных моделей шероховатых поверхностей. При этом различают четыре площади касания: номинальную A_n , контурную A_c , фактическую A_f и физическую A_r . Номинальная площадь контакта очерчена геометрическими размерами соприкасающихся тел. Контурная площадь A_c определяется площадками объемного смятия тел вследствие макрогеометрических отклонений поверхностей. Фактическая площадка A_f представляет собой суммы фактических участков соприкосновения тел, через которые передается давление.

Обработка профилограмм поверхности не может выявить субмикрорельефа вследствие ограниченного увеличения существующих профилограмм и никакой разрешающей способности их чувствительного элемента - иглы. Параметры субмикрорельефа количественно могут быть определены только с помощью методов электронной фрактографии. Участки фактического контакта не являются зонами истинного контакта и на субмикроскопическом уровне носят дискретный характер.

Помимо структурной приспособляемости материала поверхности при трении происходит приспособляемость контртела, деформирующего поверхность, проявляющаяся в дополнительных перемещениях элемента.

В зависимости от геометрических параметров качества обработки выступы металлических поверхностей с низким классом шероховатости деформируются преимущественно упруго, грубые поверхности - преимущественно пластически, а поверхности со средними величинами шероховатости - упругопластически. При повторных нагружениях без увеличения давления имеет место только упругая деформация.

ВЫВОДЫ

Таким образом, анализ теорий контактирования шероховатых поверхностей показывает, что для изучения особенностей взаимодействия деформирующего инструмента с поверхностью наплавленного покрытия необходимо рассмотреть ряд вопросов.

1. Кинематика и динамика деформирующего элемента в процессе обработки наплавленной поверхности.
2. Усилия деформирования и поля напряжений при пластическом деформировании наплавленной поверхности.
3. Тепловые процессы и температурные поля пластического деформирования наплавленной поверхности.
4. Технологическая и эксплуатационная наследственность наплавленных и пластически деформированных поверхностей в процессе их производства и эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hertz H. Über die Berührung fester elastischer Körper. -

rein und angewandte Matheematik, 1882, v.92, s 156-171.

2. Динник А.Н. Избранные труды в 3-х томах. Т.1. Удар и сжатие упругих тел. К.: Изд. АН УССР, 1952, 195 с.

3. Беляев Н.М. Местные напряжения при сжатии упругих тел. В сб.: Инженерные сооружения и строительная механика. Л., 1924, с.30-43.

4. Саверин М.М. Контактная прочность материалов в условиях одновременного действия нормальной и касательной нагрузок.-М.: Машгиз, 1946, 148 с.

5. Штаерман И.Я. Контактные задачи теории упругости.-М.: Гостехиздат, 1949, 270 с.

6. Лурье А.И. Пространственные задачи теории упругости.-М.: Гостехиздат, 1955, 491 с.

7. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости.-М.: Наука, 1966, 707 с.

8. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости.-М.: Гостехиздат, 1953, 264с.

9. Расчеты на прочность в машиностроении. Пономарев С.Д., Вигдерман В.Л., Лихарев К.К. и др., т.2.-М.: Машгиз, 1958, 759 с.

10. Макушин В.М. Деформация и напряженное состояние деталей в местах контакта.-М.: Машгиз, 1952, 211 с.

11. Boussinesque J. Equilibre d'un solide isotrope sans pesanteur, supportant differents poids, C.R. Acad. SCI. Paris, 1878, u.86, p.1260-1263.

12. Johnson K.L. Contact mechanics. Cambridge University Press, 1985.

13. Atluri S.H. On some New General and Complementary Energy Theorems for the Rate Problems in Finite Strain, Classical Elastoplasticity, J. Struct. Mech., 1980, v.8, n.1, f.61-92.