

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Слободян М.С.

Томский политехнический университет, г. Томск

Контактные задачи физического взаимодействия прижимаемых друг к другу твёрдых деформируемых тел с шероховатыми поверхностями приходится решать, как при практическом освоении многих учебных курсов, так и во многих областях науки и техники: например, при изучении закона Ома в курсе общей физики, а также в решении практических приложений связанных с проблемами трения, износа, электрической проводимости и многих других [1]. Одним из таких проблемных направлений является определение переходных (контактных) сопротивлений при разработке режимов контактной точечной сварки, так как они в значительной степени определяют тепловыделение при формировании сварного соединения и, как следствие, его качество. В настоящем докладе представлены результаты компьютерного моделирования и сравнительного анализа полученных результатов с известными методиками расчета значений начальных сопротивлений участка электрод-электрод и деталь-деталь при контактной точечной сварке деталей из циркониевого сплава Э110 толщиной 0,25 мм. В расчетах учтено применение электродов из бронзы Бр.ХЦр со сферической рабочей поверхностью радиусом 4 мм, усилие их сжатия 300 Н. Используются значения теплофизических свойств материалов, а также параметры шероховатости и окисной пленки поверхностей, приведенные в работах [2–4] и многих других (подробный перечень приведен в [4]). Характер растекания сварочного тока в немагнитном сплаве Э110 принят по аналогии с титаном [5], имеющим аналогичную магнитную проницаемость. В деталях толщиной 0,25 мм учтено увеличение растекания тока на 1,04 радиуса контакта электрод-деталь.

В процессе компьютерного моделирования учитывалось, что наиболее важную роль в значении контактного сопротивления деталь-деталь играют параметры шероховатости поверхности и толщина окисной пленки. Расчеты сопротивления были проведены для поверхностного слоя толщиной 3 мкм (наибольшая высота профиля шероховатости [4]). Разбивка зоны прохождения тока на конечные элементы проводилась по аналогии с работой [6], установкой следующих параметров:

- шаг сетки ($\Delta Z = \Delta x$) 0,05 мкм (средний шаг неровностей [4, 6]);
- площадь сечения элемента (ΔS) по оси Z 0,0025 мкм²;
- площадь контакта 0,13...2,38 мм² [4].

Для реализации расчетов переходного сопротивления деталь-деталь методом конечных элементов автором разработан программный пакет, реализованный в среде современных персональных компьютеров.

После разбивки на конечные элементы в приконтактной зоне моделировали шероховатость с помощью генератора псевдослучайных чисел (рис. 1). Фактическая площадь контакта микрошероховатостей, полученных в результате моделирования поверхностей металлов составляет 1,5...1,8% от площади контакта и, в зависимости от степени износа электродов, лежит в диапазоне 0,0021...0,428 мм². На основании полученных значений площади контакта было рассчитано контактное сопротивление деталь-деталь,

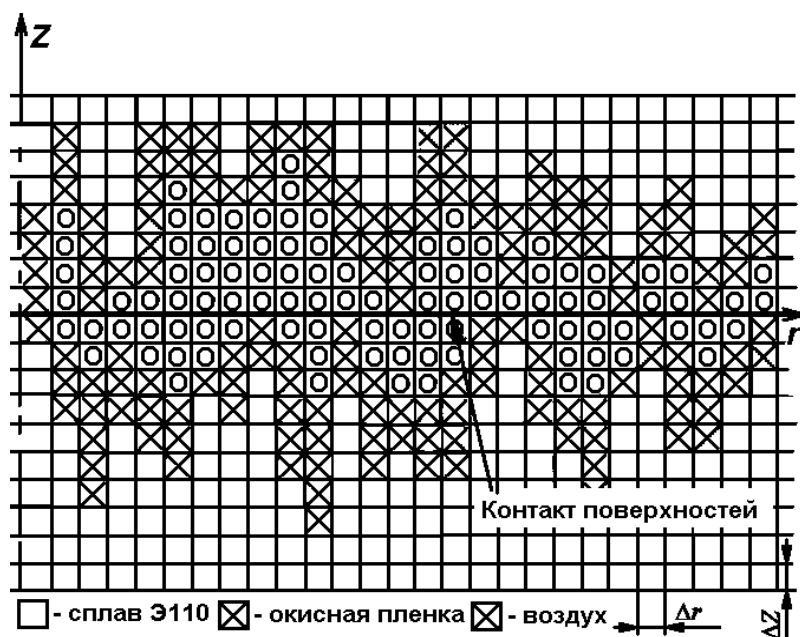


Рис. 1. Схема разбивки приконтактной области на элементы

Сопротивление каждого конечного элемента R_{ij} , в соответствии с принятой моделью, можно оценить по выражению

$$R_{ij} = \rho_{ij} \cdot \frac{\Delta Z}{\Delta S},$$

где ρ_{ij} – удельное сопротивление каждого конечного элемента, ΔZ – шаг сетки по оси Z, ΔS – площадь сечения элемента.

Соответственно, общее сопротивление деталь-деталь R_{dd} будет

$$R_{dd} = 2 \cdot \sum_{i=1}^k \left(\sum_{j=1}^n \frac{1}{R_{ij}} \right)^{-1} = 2 \cdot \frac{Z_{\max}}{S_k} \sum_{i=1}^k \left(\sum_{j=1}^n \frac{1}{\rho_{ij}} \right)^{-1},$$

где $k = \frac{Z_{\max}}{\Delta Z}$, $n = \frac{S_k}{\Delta S}$.

В результате проведенных вычислений были определены значения переходного контактного сопротивления деталь-деталь, которое при использовании новых электродов составляет 0,52 мОм, а по мере их износа уменьшается до 0,014 мОм.

Фактические значения результирующих начальных сопротивлений системы «электрод-слой материала-...-слой материала-электрод», полученные компьютерным моделированием и экспериментально [4, 6], лежат в диапазоне 4...16 мОм.

Список литературы

1. Мышкин Н. К., Кончиц В. В., Браунович М. Электрические контакты. – Долгопрудный: Изд. группа URSS, 2008. – 560 с.
2. Займовский А.С., Никулина А.В., Решетников Н.Г. Циркониевые сплавы в атомной энергетике. – М.: Энергоиздат, 1981. – 232 с.
3. Гнусов С.Ф., Киселев А.С., Слободян М.С. и др. Формирование соединения при точечной микросварке // Сварочное производство. – 2005. – №4. – С.37–41.
4. Слободян М.С. Управление свойствами соединений сплавов циркония. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 108 с.
5. Ерофеев В.А., Кудинов Р.А. Компьютерная модель контактной точечной сварки для анализа качества соединений // САПР и экспертные системы в сварке. – Тула: ТулГУТУ, 1995. – С. 84-92.
6. Слободян М.С., Киселев А.С., Гнусов С.Ф., Советченко Б.Ф. Стабилизация контактных сопротивлений при точечной микросварке // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 312. – № 1. – С. 130–133.