

УДК 536.512

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЧЕРЕЗ  
ЗОНУ КОНТАКТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Попов В.М., Дорняк О.Р., Болквадзе К.О.

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Воронежский государственный  
лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»

Email: lat-07@mail.ru

**Аннотация:** Приведены результаты экспериментальных данных контактно-го термосопротивления контакта волнистых поверхностей с гальваническим покрытием в зависимости от нагрузки, позволяющие в процессе проектирования теплонапряженных систем с составными элементами выбирать наиболее оптимальные сочетания в материалах контактных пар, геометрических характеристик контактирующих поверхностей и способов терморегулирования.

**Ключевые слова:** теплофизические свойства, теплопроводность, металлическая поверхность, теплообмен, термосопротивление, контактная пара.

TO THE QUESTION OF INCREASING HEAT CONDUCTIVITY  
THROUGH THE ZONE OF CONTACT OF METAL SURFACES

Popov V.M., Dorniyak O.R., Bolkvadze K.O.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«Voronezh State Forestry University. G.F. Morozova»

**Summary:** The results of experimental data of contact thermal resistance of the contact of wavy surfaces with electroplated coating are given depending on the load, which allow the design of heat-stressed systems with components to choose the most optimal combinations of contact pairs in materials, geometric characteristics of the contacting surfaces and thermal control methods.

**Keywords:** thermal properties, thermal conductivity, metal surface, heat transfer, thermal resistance, contact pair.

В процессе проектирования современных теоретических систем часто возникает необходимость в решении целого ряда задач в направлении повышения их эффективности, снижения массовых и габаритных характеристик, обеспечение оптимальных тепловых режимов в процессе их функционирования. В целом ряде случаев решение вышеуказанных задач усложняется ограниченностью сведений о физике процессов направленного терморегулирования в системах с составными элементами. Протекающие в этих случаях процессы теплообмена [1] значительно ограничивают спектр возможного воздействия на контактное термосопротивление (КТС) в зонах соприкосновения поверхностей отдельных элементов, составляющих данную систему. Наличие КТС за счет дискретного характера контакта поверхностей на пути тепловых потоков приводит к перегреву отдельных деталей и в целом узлов отдельных деталей и в целом узлов и при неконтролируемых процессах теплообмена может привести к выходу их из строя. Можно привести ряд примеров из практики эксплуатации теплонапряженных систем с составными элементами [2-4]. Условия эксплуатации подобных систем часто требуют разработки технологических операций по снижению КТС. Помимо мероприятий по созданию поверхностей контакта с повышенной чистотой обработки [5, 6], а также воздействию повышенными механическими нагрузками [7, 8] предлагаются и операции по введению в зоны раздела высокотеплопроводных и пластичных металлических прокладок [9, 10], покрытия поверхностей контакта гальваническим способом высокотеплопроводными и высокопластичными металлами [11, 12]. Широкое применение на практике двух последних способов снижения КТС сдерживается ограниченностью экспериментальных данных. Имеющиеся на сегодняшний день опытные данные в основном относятся к контактными парам с плоскими поверхностями.

В тоже время, как показывает практика, зачастую системы с составными элементами имеют соединения поверхностей с волнистостью [13]. Для разработки рекомендаций по терморегулированию. Для разработки рекомендаций по терморегулированию соединений с макронеровностями типа волнистости на контактирующих поверхностях требуется проведение отдельных экспериментальных исследований. Для реализации данной задачи использовалась экспериментальная установка стержневого типа [5], функционирующая в режиме стационарного температурного поля. Определенная сложность возникает при операции по созданию на контактных поверхностях образцов для нахождения КТС регулярной волнистости. Попытки выборки поверхностей с регулярной волнистостью из набора случайных образцов себя не оправдывает. Поэтому решение вопроса достигается применением специального устройства. Исследовались образцы из углеродистой стали марки Сталь 45 и нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т. На контактные поверхности образцов из стали марки 45 гальваническим способом наносились покрытия из меди, свинца и кадмия. Толщина покрытий выдерживалась в пределах  $\delta = 50$  мкм. Сведения о геометрии контакта поверхностей представлены в таблице. Полученные в процессе

Таблица 1 – Экспериментальные данные контактного термосопротивления контакта волнистых поверхностей с гальваническим покрытием в зависимости от нагрузки

Материал контактной пары	Средняя высота микронеровностей $R_z$ , мкм	Средняя высота волн $W_{cp}$ , мкм	Материал покрытия	Толщина покрытия $\delta$ , мкм	Температура в зоне контакта $T_k$ , К	Контактное термосопротивление $R_k \cdot 10^4, \frac{m^2 \cdot K}{Bt}$							
						0,2	0,5	1,0	5	10	15	20	25
Сталь 45	1,5	7,5	медь	50	380	1,4	1,0	0,92	0,8	0,68	0,52	0,4	0,3
то же	то же	то же	свинец	то же	то же	0,7	0,5	0,2	0,26	0,18	0,13	0,1	0,1
//	//	//	кадмий	//	//	1,1	0,84	0,8	0,75	0,45	0,38	0,25	0,15
//	//	//	воздух	//	//	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2	1,2	1,1
Сталь 12X18H10T	1,6		медь	50	//	4,4	2,1	1,6	1,1	0,7	0,5	0,4	0,3
то же	то же	то же	свинец	то же	то же	6,5	4,2	2,8	2,1	1,7	1,4	1,2	1,1
//	//	//	кадмий	//	//	5,8	4,4	3,1	2,4	2,0	1,8	1,6	1,4
//	//	//	воздух	//	//	8,1	7,2	6,4	5,2	4,8	4,4	4,0	3,7

проведения экспериментов данные представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что наибольший эффект по снижению КТС дают покрытия из мягких металлов (свинец, кадмий) несмотря на то, что, скажем, медное покрытие более теплопроводно. Очевидно, превалирует влияние пластической деформации микронеровностей и волн на увеличение фактической площади касания. Сказывается также более интенсивное уменьшение межконтактной воздушной прослойки. Из таблицы 1 также видно, что на величину КТС оказывают влияние и теплофизические свойства основного материала контактной пары. Это следует из сравнения контактных пар из стали марки 45 и нержавеющей стали 12X18H10T, имеющей значительно меньший коэффициент теплопроводности.

Приведенные результаты экспериментальных исследований позволяют в

процессе проектирования теплонапряженных систем с составными элементами выбирать наиболее оптимальные сочетания в материалах контактных пар, геометрических характеристик контактирующих поверхностей и способов термоуправления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шлыков, Ю. П. Контактное термическое сопротивление [Текст] / Ю. П. Шлыков, Е. А. Ганин, С. Н. Царевский // М. : Энергия, 1977. – 328 с.
- 2 Авдудевский, В. С. Основы теплопередачи в авиационной и ракетокосмической технике [Текст] / В. С. Авдудевский // М. : Машиностроение, 1992. – 416 с.
- 3 Фаворский, О. Н. Контактный теплообмен в газотурбинных двигателях и энергоустановках [Текст] / О. Н. Фаворский, В. Н. Леонтьев, В. А. Мальков // М. : Машиностроение, 1978. – 143 с.
- 4 Дульнев, Г. Н. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. М. : Энергия, 1971. – 216 с.
- 5 Попов, В. М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений [Текст] / В. М. Попов // М. : Энергия, 1971. – 216 с.
- 6 O’Callaghan P. W., Jones A. M. and Probert S. D. “Research Note: The Thermal Behavior of Gauzes as Interfacial inserts between Solids”. Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 17, 1975, Pp. 233-236.
- 7 Ильченко, О. Т. Термическое сопротивление контактного слоя [Текст] / О. Т. Ильченко, В. М. Капинос // Тр. Харьковского политехн. ин-та. Машиностроение. – 1959. – Т. 19. – Вып. 5. – С. 169-181.
- 8 Швец, Н. Т. Контактный теплообмен в деталях машин [Текст] / И. Т. Швец, Е. П. Дыбан // В кн. Воздушное охлаждение газовых турбин. Киев. Изд-во Киевского ун-та. – 1956. – 351с.
- 9 Миллер, В. С. Эффективный способ уменьшения контактного термического сопротивления [Текст] // В. С. Миллер / Инженерно-физический журнал. 1963. – № 4. – С. 71-74.
- 10 Fletcher L. S. Review of Thermal Control Materials for Metallic Junctions // Journal of Spacecraft and Rocket, 1972. – Vol. 9. – Pp. 849-850.
- 11 Мальков, В. А. Влияние покрытий и прокладок из мягких металлов на контактное термическое сопротивление [Текст] / В. А. Мальков, П. А. Добашин // Инженерно-физический журнал. – 1969. – Т. 17. – № 5. – С. 871-879.
- 12 Микич Б. Влияние теплопроводности материала покрытия на термическое сопротивление контакта [Текст] / Б. Микич., Г. Карнаскиали // Теплопередача. – 1970. – № 3. – С. 168-175.
- 13 Измайлов, В. В. Контакт твердых тел и его проводимость [Текст] / В. В. Измайлов, М. В. Новоселова // Тверь: ТГТУ, 2010. – 112 с.