

УДК 536.241

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ПРИЛОЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА
ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЯ В ЗОНЕ
КОНТАКТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Попов В.М., Латынин А.В., Анашкина Н.А., Полянский Р.Н.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»

Email: lat-07@mail.ru

Аннотация: В статье рассматривается процесс формирования КТС в соединениях контактных пар теплонапряженных технических систем выполненных из пластичных и упругих материалов с приложением малых механических нагрузок.

Ключевые слова: контактная пара, контактное термическое сопротивление, зона контакта, механическая нагрузка.

EFFECT OF THE TIME OF THE APPLICATION OF THE MECHANICAL LOAD
ON THE PROCESS OF FORMING THERMAL RESISTANCE IN THE AREA OF
CONTACT OF METAL SURFACES

Popov V.M., Latinin A.V., Anashkina N.A., Polyanskii R.N.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Voronezh State
University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov"

Summary: The article discusses the process of the formation of CCC in the joints of contact pairs of heat-stressed technical systems made of plastic and elastic materials with the application of small mechanical loads.

Keywords: contact pair, contact thermal resistance, contact zone, mechanical load.

Повышение мощности, увеличение скоростных характеристик многих современных машин и приборов сопровождается резким ростом теплонапряженности и энергоемкости их узлов. При этом в процессе проектирования таких технических систем возрастает роль контактных термосопротивлений (КТС), обусловленных дискретным характером контакта соприкасающихся поверхностей. Формирующиеся в процессе теплопереноса через зоны раздела КТС приводят к потерям мощности при прохождении теплового потока и, как правило, к перегреву отдельных деталей и в целом узлов. Из результатов проведенных по данной проблеме исследований [1-4] видно, что на процесс формирования

КТС оказывают влияние такие факторы, как физико-механические свойства материалов контактных пар, чистота обработки поверхностей контакта, природа среды в межконтактном переходе. В ряде экспериментальных исследований [3, 5] отмечен эффект влияния времени приложения механической нагрузки на КТС соединений. Так, в работе [5] в контактной паре, имитирующей сборку ТВЭЛа, при воздействии механической нагрузки в течение 6 часов КТС снижается с $0,4 \cdot 10^4 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ до $0,1 \cdot 10^4 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$.

В работе [6] исследуются контактные пары из железа Армко, применяемого для узлов в космических летательных аппаратах. Установлено повышение тепловой проводимости через контактный переход за 50 ч на 10 %.

Полученные экспериментальные данные для длительнонагруженных соединений в основном носили декларативный характер и не раскрывали природу процесса формирования КТС в зависимости от времени приложения механической нагрузки на контактные соединения.

Для проведения исследований по данной проблеме создана установка, в основу которой заложен метод формирования стационарного температурного поля [3] в составных системах. Основу установки составляет рабочая ячейка, состоящая из электронагревателя и холодильника, питаемого проточной водой. Между нагревателем и холодильником устанавливаются образцы в виде контактной пары из двух соприкасающихся торцами цилиндров диаметром 30 мм и длиной 30 мм. В образцах в четырех отверстиях в цилиндре устанавливаются хромель-копелевые термопары, термо ЭДС с которых подается на гальванометр. Боковые поверхности образцов теплоизолированы.

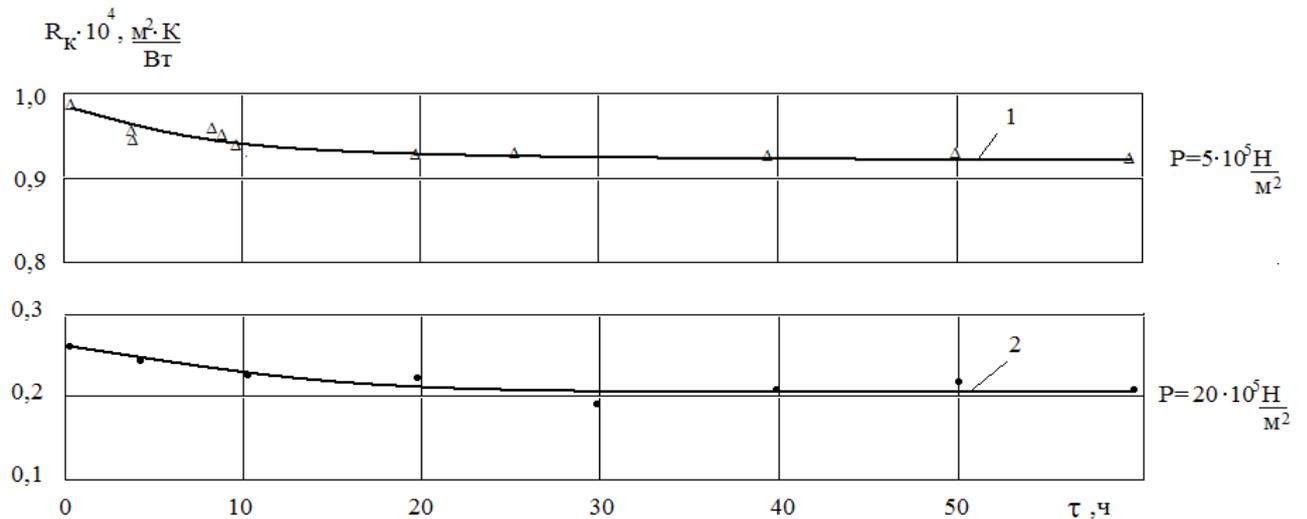
После установления стационарного режима в течение 3-4 ч осуществляются замеры температуры по длине цилиндров. Перед включением электронагревателя и холодильника образцы подвергаются нагружению с помощью винтового устройства. По полученным значениям температуры находится среднее значение теплового потока, проходящего через зону контакта q_{cp} , а также температурный скачок в зоне раздела Δt . Контактное термосопротивление находится согласно формулы

$$R_k = \frac{\Delta t}{q_{cp}}$$

Изменение механической нагрузки на зону контакта требует фиксации температурной перестройки значений термопар. Время очередной фиксации температур обычно составляет 40-50 минут.

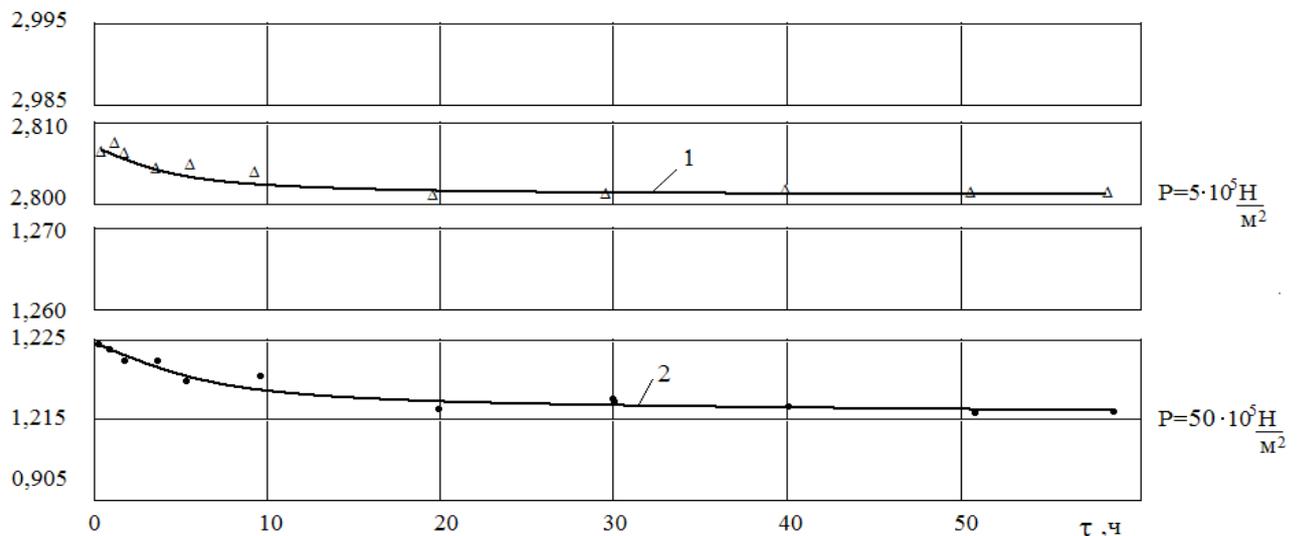
Исследовалось формирование КТС в соединениях контактных пар из высокопластичного сплава Д16Т и высокоупругой стали марки 35ХМ. В процессе исследований варьировались чистота обработки контактных поверхностей, давление и температура в зоне контакта.

Полученные в процессе исследований результаты представлены в виде зависимостей $R_k = f(\tau)$ на рисунках 1 и 2.



1 – поверхности обработаны шлифованием с $R_z \approx 19,1$ мкм; 2 – шлифованием с $R_z \approx 15-26$ мкм; температура в зоне контакта $T_k = 373$ К

Рисунок 1 – Зависимость контактного термосопротивления для контактной пары из сплава Д16Т от времени нагружения



1 – фрезерование с $R_z \approx 12,5-18$ мкм; 2 – фрезерование с $R_z \approx 2,9-4,8$ мкм; температура в зоне контакта $T_k = 473$ К

Рисунок 2 – Зависимость $R_k = f(\tau)$ для контактной пары из стали марки 35ХМ

Из анализа опытных данных на рисунках 1 и 2 можно сделать следующие выводы. Для контактных пар из разных по физико-механическим свойствам металлов прослеживается практически одинаковое интенсивное снижение КТС в начальной стадии приложения механической нагрузки, что можно объяснить ростом фактической площади касания поверхностей и смятием максимальных выступов микронеровностей за счет пластической составляющей деформации микровыступов. Этот вывод согласуется с теорией механического контактирования твердых тел [7]. Для контактных пар из более пластичного сплава Д16Т зависимость $R_{\text{к}} = f(\tau)$ имеет время вырождения значительно меньшее, чем для более твердой стали марки 35ХМ.

Приведенные выше результаты исследований позволяют осуществлять прогнозирование по формированию КТС в зависимости от временного фактора.

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 Madhusudana C. V., Fletcher L.S. Contact Head transfer – the last decade / AJAA. Journal, 1986. V. 24. – Pp. 510-522.
- 3 Попов В. М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений [Текст] / В. М. Попов // М. : Энергия, 1971. – 214 с.
- 4 Меснянкин, С. Ю. Современный взгляд на проблемы теплового контактирования твердых тел [Текст] / С. Ю. Меснянкин, А. Г. Викулов, Д. Г. Викулов // Успехи физических наук. 2009. Т. 179. – № 9. – С. 945-970.
- 5 Pearson J. A. Internat heat transfer in fuel elements // Nuclear Energy. 1963. Vol. 7. – Pp. 156-164.
- 6 Маккинзи Экспериментальное подтверждение циклического характера контактного теплообмена // В кн. «Теплообмен и тепловой режим космических аппаратов». М. : Мир, 1974. – С. 213-233.
- 7 Измайлов В. В., Новоселова М.В. Контакт твердых тел и его проводимость. Тверь, 2010 – 107 с.