

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ИСКУССТВЕННО-ПОРИСТЫХ ТЕРМОЭЛЕМЕНТАХ

В. П. Бабин, Е. К. Иорданишвили, М. Б. Набиев, Х. О. Олимов

Метод нестационарного термоэлектрического охлаждения (НТО) известен с конца 50-х годов [1] и получил дальнейшее развитие в 70—80-х годах [2—10]. В основе метода лежит явление запаздывания притока тепла к теплопоглощающим саям термоэлемента (ТЭ) при токах, существенно больших оптимального.

Метод НТО развивался в двух направлениях: 1) применение тока питания ТЭ в виде сложной функции времени [1—4], 2) изменение геометрической формы самого ТЭ [6—10].

Первое направление действительно обеспечило уровень охлаждения, значительно превышающий возможности стационарного метода, но в течение ограниченного промежутка

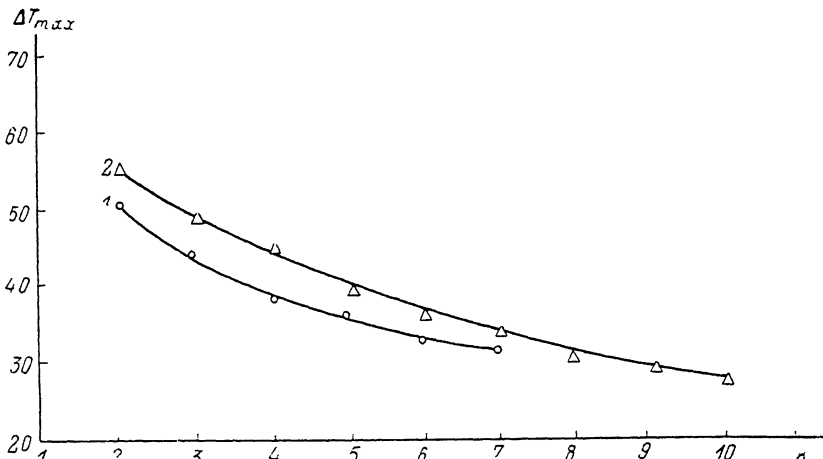


Рис. 1. Зависимость ΔT_{max} от безразмерного тока k в режиме прямоугольного импульса для КТЭ (1) и ИПТЭ (2).

времени. Основным недостатком первого направления является необходимость создания сложных электронных источников энергоснабжения, что ограничивает целесообразность их практического применения.

Второе направление (изменение геометрической формы ТЭ) позволило получить хорошие результаты и на простейших токовых режимах прямоугольного импульса и комбинированном режиме [7—9]. Качественный эффект в режимах НТО, полученный на конических ТЭ при отрицательной конусности [10], может быть реализован и в конструкциях искусственно-пористых ТЭ. Этому вопросу и посвящена настоящая работа.

Искусственно-пористый ТЭ (ИПТЭ) назовем такой термоэлемент с ветвями из обычного термоэлектрического материала, в котором с помощью той или иной технологической операции созданы макроотверстия (поры). ИПТЭ, на котором были проведены исследования, был изготовлен из слитка зонно-плавленного сплава. Исходный слиток имел диаметр 10 мм и длину 27.5 мм. В слитке было просверлено цилиндрическое отверстие диаметром 6.5 мм на глубину 25 мм так, что со стороны теплопоглощающего сая оставался сплошной слой толщиной 2.5 мм. Далее были просверлены радиальные каналы нормально цилиндрической поверхности. Таких отверстий диаметром 1.5 мм на цилиндрической поверхности было 48.

Для сравнительных экспериментов был изготовлен контрольный термоэлемент (КТЭ), выполненный из сплошного материала.

Термоэлектрическая добротность Z как для КТЭ, так и для ИПТЭ равнялась $2.9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ при комнатной температуре.

При этом сопротивление КТЭ при комнатной температуре равнялось $7.37 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$, что соответствует удельной электропроводности $\sigma = 950 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Сопротивление ИПТЭ равнялось $22.1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$, т. е. было в три раза выше за счет искусственной пористости.

Трактовка эффекта при использовании ИПТЭ может быть формально двузначной: дискретную пористость можно условно трактовать как увеличение удельного сопротивления ρ (уменьшение σ) ТЭ или считать (по принципу суперпозиции элементарных сопротивлений) ИПТЭ эквивалентным термоэлементу грибообразной формы.

Отметим, что такая двузначность трактовки эффекта искусственной пористости носит чисто методический характер. Сам объективный эффект, который получен экспериментально и будет обсуждаться далее, может объясняться в рамках первой либо второй трактовки.

Если считать ИПТЭ элементом с повышенным удельным сопротивлением, то при наличии контактного сопротивления r_k , неизбежно имеющегося у каждого ТЭ, эффект ИПТЭ проявится даже в стационарном режиме. Действительно, общеизвестна формула термоэлектрической добротности Z_k с учетом контактного сопротивления r_k

$$Z_k = \frac{Z_0}{1 + \frac{2r_k}{\rho l}}, \quad (1)$$

где Z_0 — добротность исходного вещества ТЭ.

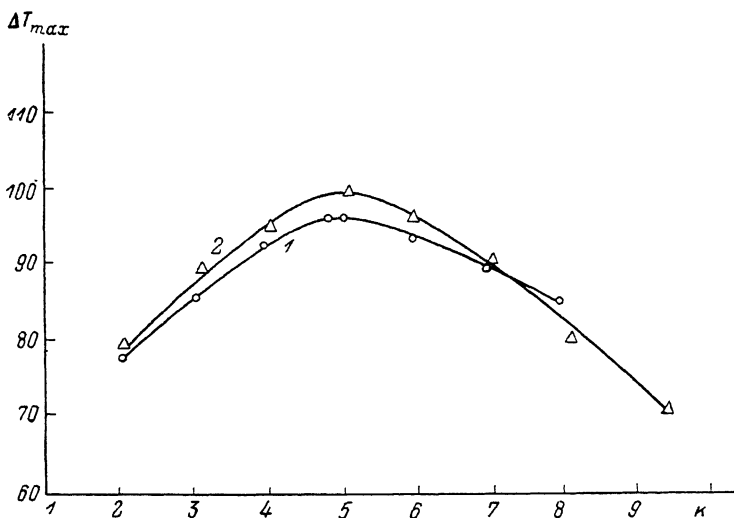


Рис. 2. Зависимость ΔT_{max} от безразмерного тока k в комбинированном режиме для КТЭ (1) и ИПТЭ (2).

По этой же трактовке может быть объяснен эффект повышения ΔT на ИПТЭ в режиме прямоугольных импульсов [2, 4]. В этих работах аналитически и экспериментально показано, что в режимах НТО термоэлементы с большим удельным сопротивлением дают более глубокое охлаждение при одних и тех же r_k .

Приведем экспериментальные данные. На рис. 1 показаны зависимости ΔT_{max} от величины k . ($k = I_n / I_0$, где I_n — ток импульса, I_0 — оптимальный ток стационарного режима). Видно, оптимальный ток I_0 для КТЭ равнялся 10 А, а для ИПТЭ — 3,5 А. Обе величины I_0 были подобраны экспериментально.

Из рис. 1 видно, что величина ΔT_{max} для ИПТЭ больше, чем для КТЭ. Этот факт может быть объяснен, как говорилось выше, первым вариантом трактовки эффекта ИПТЭ.

На рис. 2 представлены зависимости ΔT_{max} комбинированного режима от безразмерного тока k . Кривые для КТЭ и ИПТЭ имеют ярко выраженный максимум, что и должно быть в комбинированном режиме [4, 10]. При этом наблюдается большее охлаждение у ИПТЭ (кривая 2) по сравнению с контрольным образцом (кривая 1). Величина стационарного перепада температур $\Delta T_{ст}$ в обоих случаях была равна 69 К при $T_r = 298$ К.

Для объяснения эффекта ИПТЭ в комбинированном режиме может быть применена и вторая форма трактовки, а именно: условно считать наш ИПТЭ эквивалентным термоэлементу грибообразной формы. Тогда объяснение эффекта будет качественно аналогичным приведенному в [10] для конического ТЭ, а именно: 1) наличие в области теплопоглощающего спая большей предварительно охлажденной массы ветви ТЭ «грибообразной» формы по сравнению с ТЭ постоянного сечения, 2) меньшая плотность тока в области теплопоглощающего спая

ИПТЭ, что приводит к уменьшению дополнительного удельного тепловыделения на контактом сопротивлении.

Для того чтобы показать возможности ИПТЭ, близкие к предельным, на них был использован режим многоступенчатых импульсов тока.

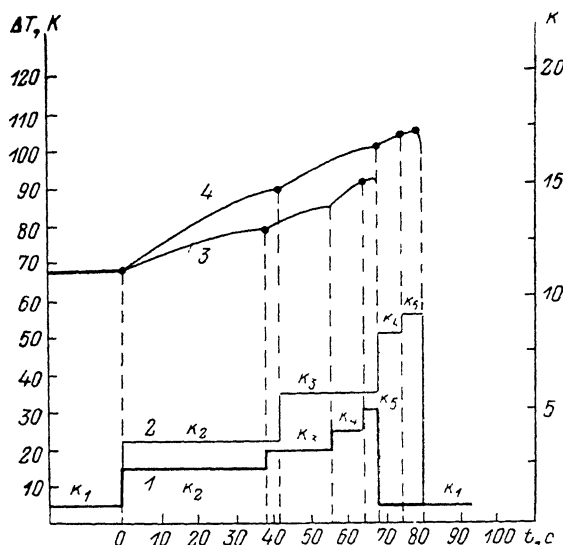


Рис. 3. Синхронная зависимость безразмерного тока k и результирующей ΔT при многоступенчатых импульсах тока с учетом предварительного охлаждения в стационарном режиме для КТЭ (1, 3) и ИПТЭ (2, 4).

На рис. 3 приведены результаты охлаждения с помощью четырехступенчатого токового импульса для КТЭ и ИПТЭ. В обоих случаях термоэлементы предварительно выводились в стационарный режим при соответствующих оптимальных токах ($k_0=1$). Затем реализовались импульсы тока возрастающей амплитуды, причем переход к следующему токовому импульсу осуществлялся в момент достижения максимального охлаждения от предыдущего импульса.

Из рис. 3 видно, что и при многоступенчатом токовом импульсе эффект охлаждения у ИПТЭ выше, чем на контрольном ТЭ как по ΔT_{\max} , так и по продолжительности охлаждения.

Литература

- [1] Стильбанс Л. С., Федорович Н. А. ЖТФ, 1958, т. 28, № 3, с. 489—492.
- [2] Иорданишвили Е. К., Малкович Б. Е.-Ш. ИФЖ, 1972, т. 23, № 3, с. 498—505.
- [3] Агеев Ю. И., Гольцман Б. М., Дитман А. В., Ривкин А. С. ИФЖ, 1977, т. 32, № 5, с. 913—914.
- [4] Иорданишвили Е. К., Малкович Б. Е.-Ш., Вейц Н. Н. ИФЖ, 1972, т. 27, № 2, с. 220—226.
- [5] Грязнов О. С., Иорданишвили Е. К., Кодиров А. А. ИФЖ, 1984, т. 17, № 6, с. 1018—1019.
- [6] Бабин В. П., Иорданишвили Е. К., Малькова Г. И. Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО, 1975, № 2, с. 69—75.
- [7] Алексеев А. М., Иорданишвили Е. К., Малкович Б. Е.-Ш. и др. ЖТФ, 1977, т. 47, № 4, с. 865—872.
- [8] Иванова К. Ф., Каганов М. А., Ривкин А. С. ИФЖ, 1977, т. 32, № 3, с. 474—478.
- [9] Бабин В. П., Иорданишвили Е. К., Кодиров А. А. Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО, 1985, т. 51, № 1, с. 106—112.
- [10] Бабин В. П., Иорданишвили Е. К., Олимов Х. О., Кодиров А. А. ЖТФ, 1987, т. 57, № 2, с. 400—402.

Всесоюзный научно-исследовательский институт источников тока
Отделение
Ленинград

Поступило в Редакцию
29 февраля 1988 г.