

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОРАСSEИВАЮЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

С.С.Шергин, В.А.Карачинов

USE OF HEAT-DISSIPATING POLYMER COMPOSITES FOR HEAT PIPE PRODUCTION

S.S.Shergin, V.A.Karachinov

Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко, Донецк, t_turina@mail.ru

Приведен обзор теплорассеивающих полимерных композитов и их основных характеристик. Рассматриваются причины использования современных материалов в производстве пассивных систем обеспечения тепловых режимов. Особенностью полимерных композитов является схожесть с таким распространённым материалом для производства тепловых труб, как алюминий. Показан график влияния теплопроводности материала пластины на неравномерность ее температурного поля при точечном нагреве. Приведены преимущества полимеров перед алюминием, а также возможные положительные итоги использования таких полимеров в производстве для криогенных и низкотемпературных тепловых труб.

Ключевые слова: тепловая труба, полимеры, алюминий

Для цитирования: Шергин С.С., Карачинов В.А. Применение теплорассеивающих полимерных композитов для производства тепловых труб // Вестник НовГУ. Сер.: Технические науки. 2021. №4(125). С.87-90. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.4\(125\).87-90](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.4(125).87-90)

An overview of heat-dissipating polymer composites is given including their difference from conventional plastics. The peculiarity of such polymers is the similarity with such a common material to produce heat pipes as aluminum. A comparison of aluminum materials and polymers is presented. The advantages of polymers over aluminum are given, as well as possible positive results of the use of such polymers in the production of cryogenic and low-temperature heat pipes.

Keywords: heat pipe, polymers, aluminum

For citation: Shergin S.S., Karachinov V.A. Use of heat-dissipating polymer composites for heat pipe production // Vestnik NovSU. Issue: Engineering Sciences. 2021. №4(125). P.87-90. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.4\(125\).87-90](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.4(125).87-90)

Введение

Вопросы охлаждения и отвода избыточного тепла были, есть и всегда будут актуальны для обеспечения оптимальных условий работы всевозможных технических устройств. Для устройств охлаждения традиционно используются металлы и их сплавы. Последние результаты в области полимерного компаундирования дают основания утверждать, что к ним в ближайшем будущем могут присоединиться теплорассеивающие пластмассы — полимерные композиты с многократно увеличенной теплопроводностью.

Проблема обеспечения тепловых режимов электронной и радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) наземного применения является актуальной, что в первую очередь связано с достаточно узким температурным диапазоном ее функционирования, в котором обеспечиваются ее номинальные характеристики. Однако для целого ряда задач наиболее эффективным является использование активных и пассивных систем обеспечения тепловых режимов на основе двухфазных плототранспортных систем — тепловых труб (ТТ) [1].

Полимерные композиты уже применяются в производстве тепловых труб, примером являются вихревые трубы. Предлагается использовать теплорассеивающие пластмассы для производства и других типов ТТ.

Теплорассеивающие полимерные композиты

Для охлаждения устройства с избыточной тепловой энергией нужно для начала отвести от источника энергию тепловыделения на расстояние, а затем рассеять ее в окружающую среду. Примером такого пассивного охлаждения является ТТ, тепловой поток от источника по всем направлениям посредством теплопередачи кондукцией в материале корпуса вызывает нагрев, испарение и перенос теплоносителя в паровом канале ТТ. За счет процессов конденсации пара теплоносителя, сопровождающихся выделением тепла, происходит нагрев корпуса и рассеивание тепла в стоке ТТ. Механизмы этих двух взаимосвязанных процессов теплопередачи принципиально различны. Первый процесс описывается законами теплопроводности, второй — законами конвекции.

Способность транспортировать тепло у различных материалов существенно различна, зависит от их структуры, состава и характеризуется коэффициентом теплопроводности (λ , Вт/м·К). Так, алюминий ($\lambda = 200$ Вт/м·К) может отводить в 1300 раз больше тепла, чем пластмасса ($\lambda = 0,15$ Вт/м·К).

Теплопроводность материала, отдающего тепло, имеет малое влияние на поглощение (рассеивание) воздухом тепла, так как это является конвективным процессом, который зависит в основном от характеристик окружающей среды (температура, влажность, скорость обтекания). В соответствии с законами кон-

дукции в режиме естественной конвекции (без принудительного охлаждения, такого как обдув поверхности) существует конкретный предел количества теплового потока, которое может быть рассеяно с единицы теплоотдающей поверхности тела внешней окружающей средой. Для охлаждения в целом это означает, что повышение коэффициента теплопроводности теплоотдающего тела имеет смысл лишь до того момента, пока количество транспортируемого через него тепла не достигнет значения, которое может быть максимально рассеяно окружающей средой на последнем, лимитирующем этапе. Согласно расчетам, эффективно работающая величина коэффициента теплопроводности $\lambda_{\text{эф}}$ колеблется в районе 5-10 Вт/м·К. Дальнейшее его увеличение уже избыточно и не приведет к возрастанию теплосъема в целом.

Этот вывод подтверждается серией экспериментов (CoolPolymers), рис.1, в которых тепловой источник постоянной мощности (5 Вт) закреплялся на пластинах одинакового размера, изготовленных из материалов с разной теплопроводностью. За точку отсчета бралась пластина из обычной пластмассы (теплопроводность 0,15 Вт/м·К). Измерялся максимальный перепад температур, возникающий на пластине за счет выделяемого источником тепла.

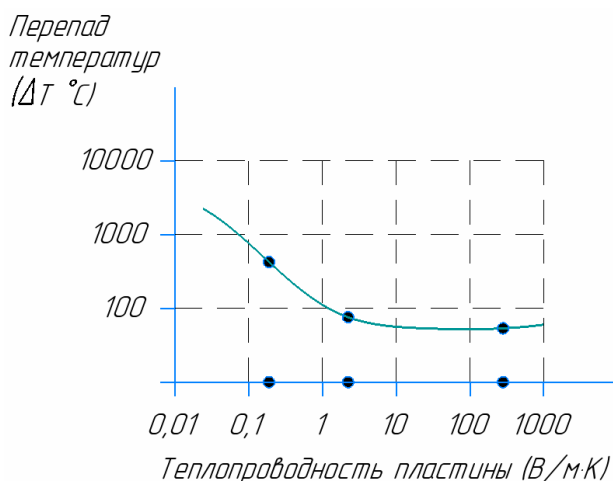


Рис.1. Влияние теплопроводности материала пластины на неравномерность ее температурного поля при точечном нагреве

При более чем десятикратном увеличении теплопроводности от 0,2 до 2,0 Вт/м·К перепад температур по пластине снизился в 20 раз, т.е. наблюдалось очень эффективное выравнивание температурного поля. Однако уже следующее увеличение теплопроводности с 2,0 до 200 Вт/м·К (чистый алюминий) привело лишь к незначительному уменьшению перепада по поверхности пластины на 2-4°C. Это доказывает, что теплопроводящий потенциал алюминия используется в системах пассивного обеспечения тепловых режимов не весь, а лишь на десятую часть, что технически избыточно.

Теплопроводность стандартных пластмасс находится где-то в районе 0,1-0,3 Вт/м·К, т.е. при такой теплопроводности они являются типичными теплоизоляторами. Разрыв практически в сто раз между

реальной и требуемой эффективной теплопроводностью для изготовления систем пассивного охлаждающего устройства не позволял конструкторам использовать пластмассу, которая является одним из самых дешевых материалов и легко обрабатывается. Современное количество различных устройств, телефонов, светильников и других потребительских приборов, микроэлектронных устройств и радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) вынуждает использовать более выгодный и качественный материал. Именно пластмассовые корпуса, монтажные платы и другие многочисленные детали из пластмасс являются по существу объединяющей, интегрирующей средой для взаимодействия радиоэлектронных и других функциональных элементов и потребителя энергии. Массовая доля содержания пластмасс в этих изделиях неуклонно повышается и достигает в некоторых случаях 90-95%. Поэтому понятно стремление разработчиков попытаться использовать пластмассы и для охлаждения различных устройств [2].

Сравнение с алюминием

Решение этой проблемы стало возможным после разработки и начала промышленного выпуска так называемых теплорассеивающих полимерных композитов (ТРПК) с теплопроводностью, в десятки и сотни раз превосходящей теплопроводность традиционных пластмасс.

Технический результат получения ТРПК достигается путем введения в матрицу на основе кремнийорганического каучука эпоксидного наполнителя, как в виде частиц оксида алюминия размером от 1 до 200 мкм в количестве 0,1-80% от общей массы полимерного теплопроводящего композиционного материала в сочетании с нановолокнами оксида алюминия диаметром до 100 нм в количестве 0,1-50% от общей массы теплопроводящего композиционного материала, так и в виде только нановолокон оксида алюминия в количестве до 80% от общей массы вышеуказанного материала, при этом нановолокна могут располагаться в матрице хаотично или быть ориентированными вдоль направления теплового потока от теплонагруженной поверхности.

В случае применения наполнителей в виде теплопроводящих частиц оксида алюминия в сочетании с хаотично расположенными нановолокнами оксида алюминия оба наполнителя перемешиваются, образуя порошково-волоконистую структуру, которая в дальнейшем вмещается в матрицу, изначально находящуюся в жидком состоянии.

После введения в жидкую матрицу наполнителей производился процесс отверждения, который протекает в нормальных условиях с участием отвердителей или в результате взаимодействия реакционноспособных групп олигомеров между собой.

Теплопроводность композиции увеличивается за счет того, что теплопроводящие нановолокна оксида алюминия, распределяясь в матрице, образуют каналы проводимости тепла в виде отдельных нановолокон и (или) их пучков, а теплопроводящие частицы оксида алюминия обеспечивают более плотную упаковку в матрице. При этом для создания более

высокой плотности упаковки применяются частицы с разбросом размера от 1 до 200 мкм. Полученные значительные величины коэффициента теплопроводности обусловлены низкой концентрацией или полным отсутствием дефектов в нановолокнах [3].

Такое резкое повышение теплопроводности ТРПК стало возможным за счет подбора специальных технологических добавок, использования наполнителей с высокой теплопроводностью (до 150–250 Вт/м·К), специализированного технологического оборудования для их высокого и сверхвысокого наполнения.

К примеру, изготавливали полимерный теплопроводящий композиционный материал, имеющий в качестве матрицы кремнийорганический каучук или эпоксидный материал, в которую при нахождении ее в изначальном жидком состоянии добавляли нановолокна оксида алюминия в количестве 1–20% от общей массы нанокомпозита. Полученная композиция отверждалась при помощи отвердителя в нормальных условиях. В результате значение коэффициента теплопроводности данного композиционного материала составляло величины от 0,6 до 12 Вт/м·К (при температуре 24°C).

В зависимости от наполнителя эти композиты могут либо сохранять свои электроизоляционные свойства, либо иметь на 5–10 порядков более низкие поверхностные электрические сопротивления, т. е. одновременно соответствовать требованиям, предъявляемым к антистатическим и электропроводящим пластмассам. Ряд производителей полимерных композитов специального назначения информировали о начале промышленного выпуска нескольких семейств ТРПК.

Таблица 1

Сравнение характеристик алюминиевых сплавов и ТРПК [4]

Показатель	Алюминиевые сплавы	ТРПК
Теплопроводность, Вт/м·К	50–100	3–40
Точность изготовления	средняя	высокая
Шероховатость поверхности Ra, мкм	2,5–1,25	0,63
Коэффициент линейного термического расширения, $\alpha \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	25–30	8–11
Усадка при литье, %	0,7–1,3	0,1–0,3
Финишная механическая доработка	требуется	не требуется
Удельный вес	2,7	1,6–1,8
Использование термопасты при монтаже МЭУ	всегда	редко
Относительная себестоимость (при массовом производстве)	1,0	0,4–0,6

Основной сферой применения ТРПК является изготовление так называемых термоинтерфейсов — изделий, обеспечивающих передачу тепла непосредственно от теплогенерирующих микронэлектронных устройств в окружающую среду. Типичными представителями термоинтерфейсов являются металлические (обычно из алюминиевых сплавов) радиаторы охлаждения. По основным технико-экономическим показателям (за исключением теплопроводности) ТРПК имеют серьезное преимущество в сравнении с алюминиевыми сплавами (табл.1).

Тепловые трубы и теплорассеивающие полимерные композиты

Полимерные композиты уже используются во многих системах охлаждения, к примеру, они применяются для охлаждения источника света LED светодиодов [5]. Поскольку ТРПК имеют ряд преимуществ перед алюминием, это является весомым аргументом применять их для изготовления различных типов ТТ. Предлагается их использование при производстве цилиндрических, плоских и гибких ТТ [6]. Применение ТРПК упрощает технологический процесс производства, повышает качество продукции. Большим преимуществом композитов перед алюминием является себестоимость и масса. Уменьшение массы более чем в два раза позволит использовать ТТ эффективнее в тех областях, где масса изделия имеет решающий фактор, например в аэрофлоте.

Таблица 2

Материалы, применяемые в тепловых трубах

Тип ТТ	Криогенные	Низкотемпературные
Характеристики		
Рабочий диапазон температур, $T_{\min} \div T_{\max}$, К	$T < 200$	200÷350
Теплоноситель	Криогенные жидкости	Метанол, этанол, ацетон, аммиак
Материал конструкций	Алюминий, медь	Алюминий, медь

Температура эксплуатации алюминия и ТРПК практически одинаковые, к тому же они стойки к большинству используемых теплоносителей. В табл.2 приведены самые распространённые материалы, используемые в ТТ с алюминиевым корпусом.

Выводы

Использование ТРПК в производстве ТТ позволит расширить область применения и эффективность пассивных систем обеспечения тепловых режимов на основе двухфазных теплотранспортных систем.

1. Шергин С.С., Карачинов В.А., Осипова И.С. Исследование яркостного контраста профильной тепловой трубы в условиях диагностики качества // Вестник НовГУ. Сер.: Технические науки. 2020. №5(121). С.39-43.
2. Куинн Т. Температура. М.: Мир, 1985. 448 с.
3. Патент на изобретение №2614334 РФ МПК C09K 05/00. Полимерный теплопроводящий композиционный материал / А.Н.Чаплыгин, Г.Н.Бельских, М.С.Худицын, С.С.Кошкин. Бюл. №9. Заявл. 10.11.2015. Оpubл. 24.03.2017.
4. Криваткин А., Сакуненко Ю. Теплоотсеивающие полимерные композиты в микроэлектронике // Технологии в электронной промышленности. 2009. №6(34). С.34-36.
5. Криваткин А., Сакуненко Ю. Применение теплоотсеивающих пластмасс для охлаждения LED-кристаллов // Современная светотехника. 2010. №4. С.50-54.
6. Дульнев Г.Н., Семьяшкин Э.М., Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. Л.: Энергия, 1968. 360 с.

References

1. Shergin S.S., Karachinov V.A., Osipova I.S. Issledovaniye yarkostnogo kontrasta profil'noy teplovoy truby v usloviyakh

diagnostiki kachestva [Study of the brightness contrast of a profile heat pipe in the conditions of quality diagnostics]. Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta – Vestnik NovSU, Issue: Engineering Sciences. 2020, no. 5(121), pp. 39-43.

2. Quinn T. J. Temperature. Academic, New York, 1983. (Russ ed.: Quinn T. Temperatura. Moscow, Mir Publ., 1985. 448 p.).
3. Chaplygin A. N., Belskikh G.N., Khuditsyn M. S., Koshkin S. S. Polimernyy teploprovodnyy kompozitnyy material [Polymer heat-conducting composite material]. Patent RF, no. 2614334, 2017.
4. Krivatkin A., Sakunenko Yu. Teplorasseyayushchiye polimernyye kompozity v mikroelektronike [Heat-scattering polymer composites in microelectronics]. Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti – Technologies in the electronic industry, 2009, no. 6(34), pp. 34-36.
5. Krivatkin A., Sakunenko Yu. Primeneniye teplorasseyayushchikh plastmass dlya okhlazhdeniya LED-kristallov [The use of heat-dissipating plastics for cooling LED crystals]. Sovremennaya svetotekhnika – Modern lighting engineering, 2010, no. 4, pp. 50-54.
6. Dulnev G.N., Semyashkin E.M. Teploobmen v radioelektronnykh apparatakh [Heat exchange in radio-electronic devices]. Leningrad, Energiya Publ., 1968. 360 p.