

ВЛИЯНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ОТКЛОНЕНИЕ ФОРМЫ ПОЛУЧАЕМОГО МИКРООРЕБРЕНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СТРУКТУР ТЕПЛОВЫХ ТРУБ МЕТОДОМ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РЕЗАНИЯ

Лю Вэй

weishao1996@gmail.com

SPIN-код: 4341-6627

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Геометрические параметры капиллярно-пористой структуры в виде микрооребрения являются основным фактором, определяющим эксплуатационные характеристики тепловой трубы. В работе исследовано отклонение формы получаемого микрооребрения при изготовлении капиллярно-пористых структур тепловой трубы из различных материалов методом деформирующего резания. Эксперимент выполнен на токарно-винторезном станке с помощью приспособления — барабана, имеющего возможность закрепления и натяжения обрабатываемой полосы. Получены фотографии шлифов оребрения капиллярно-пористой структуры из различных материалов, полученные методом деформирующего резания с разными подачами. Рассчитан теоретический профиль и выполнено сравнение получаемых форм капиллярных структур при различных шагах оребрения.

Ключевые слова

Тепловая труба, капиллярно-пористая структура, деформирующее резание, коэффициент увеличения площади поверхности, ширина межреберного зазора, высота ребра, медь, алюминий

Поступила в редакцию 17.04.2020

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

Введение. С развитием современных электронных устройств увеличивается мощность их тепловыделения. Эффективное охлаждение непосредственно влияет на срок службы и надежность работы электронных устройств. В последние годы тепловые трубы стали одной из наиболее эффективных технологий отвода теплоты от тепловыделяющих элементов электронной аппаратуры [1].

Тепловая труба является высокоэффективным теплопередающим устройством, работа которого основана на принципе фазовых превращений жидкости для интенсификации теплообмена [2]. Тепловая труба представляет собой замкнутую систему, состоящую из трубчатого герметичного корпуса капиллярно-пористой структуры и рабочей жидкости, находящейся в структуре [3]. В зоне нагрева жидкость испаряется, превращаясь в пар и отводя теплоту. Пар с большой скоростью устремляется в холодную часть тепловой трубы и конденсируется, отдавая теплоту. Сконденсированная жидкость по капиллярно-пористой структуре возвращается в зону испарения, и цикл повторяется. Капиллярная

структура служит основным компонентом тепловой трубы, при этом капиллярный напор и гидравлическое сопротивление капиллярно-пористой структуры определяют эффективность теплопередачи всей тепловой трубы [4].

Деформирующее резание (ДР) позволяет формировать микрооребрение с шириной межреберного зазора от единиц микрометров, обеспечивая большой капиллярный напор, при этом прямолинейность капиллярных каналов обеспечивает минимальное гидравлическое сопротивление капиллярно-пористой структуры. Отмечено, что форма межреберного зазора зависит от свойств обрабатываемого методом ДР материала. Цель работы — экспериментальное исследование отклонения формы получаемого оребрения от расчетной для наиболее распространенных материалов, используемых в качестве капиллярно-пористых структур тепловых труб: меди М1 и алюминия АД1.

Методика проведения эксперимента и обработки данных. Заготовками для получения капиллярно-пористых структур методом ДР служили тонколистовые полосы размерами 80×450 мм с толщиной алюминиевой полосы 0,15 мм и медной полосы 0,12 мм.

Полосы закрепляли на специальном приспособлении, установленном на токарно-винторезный станок 1Е61МТ. Приспособление представляет собой барабан диаметром 145 мм с возможностью закрепления и натяжения обрабатываемой полосы. Приспособление базируется на конус шпинделя станка и поджимается задним вращающимся центром (рис. 1). Биение рабочей поверхности барабана устраняли ее чистовым точением после установки барабана на станке.

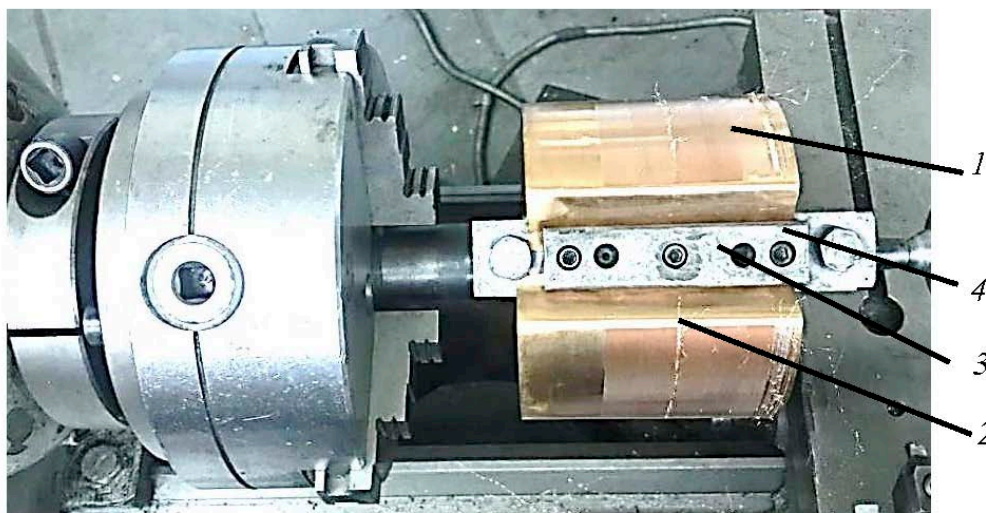


Рис. 1. Общий вид приспособления с обрабатываемой полосой для получения капиллярной структуры на токарно-винторезном станке:

- 1 — приспособление для закрепления и натяжения полосы; 2 — тонколистовая заготовка;
3 — планка закрепления полосы; 4 — винты натяжения полосы

Формирование капиллярной структуры в виде микрооробрения осуществлялось при частоте вращения шпинделя $n = 140$ об/мин, что соответствовало скорости резания $V_p = 63,7$ м/мин. Для ДР использовали твердосплавную вставку (из сплава H10F Sandvik) с главным углом инструмента в плане $\varphi = 30^\circ$ и вспомогательным углом инструмента в плане $\varphi_1 = 90^\circ$. Глубина ДР была постоянной для всех получаемых структур и составляла $t = 0,06$ мм. Подача на оборот шпинделя варьировалась в диапазоне $S_0 = 0,04 \dots 0,08$ мм/об с шагом изменения подачи $0,01$ мм/об. Смазочно-охлаждающие жидкости не использовались.

Поперечный срез капиллярных структур заливали эпоксидной смолой. После полимеризации выполняли шлифование на станке шлифовальной шкуркой зернистостью P150 до появления четкой капиллярной структуры.

Для получения более качественного среза микрооробрения проводили дополнительное ручное шлифование шкурками на стекле с уменьшением зернистости от P240 до P2000.

Измерение ширины межреберного зазора b_i и высоты ребра h_i проводили на фотографиях поперечных срезов структур, полученных на микроскопе с видеокамерой Levenhuk C510. Фактический коэффициент оробрения $(K_{op})_i$ определяли делением периметра единичного ребра на значение шага капиллярной структуры, равного значению подачи на оборот S_0 .

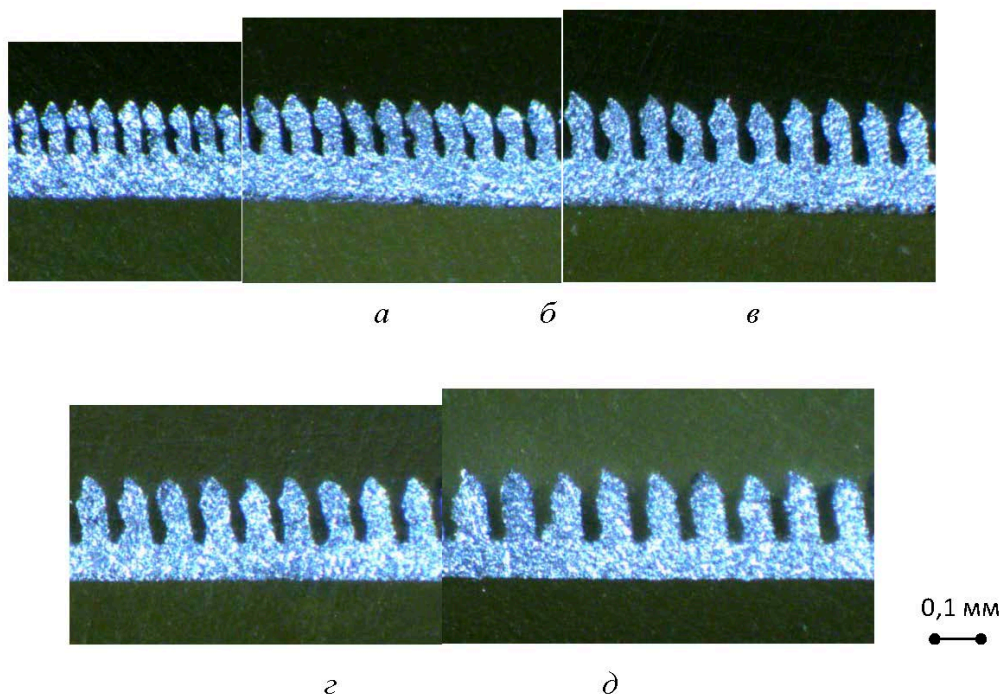


Рис. 2. Фотографии шлифов оробрения капиллярно-пористой структуры (алюминий АД1), полученные ДР с разными значениями подачи S_0 :

$a - S_0 = 0,04$ мм/об; $б - S_0 = 0,05$ мм/об; $в - S_0 = 0,06$ мм/об;
 $г - S_0 = 0,07$ мм/об; $д - S_0 = 0,08$ мм/об

Теоретический расчет ширины межреберного зазора b , высоты ребра h_p и коэффициента оребрения K_{op} выполняли по формулам [8] при значении главного угла инструмента в плане $\varphi = 30^\circ$ и глубине резания $t = 0,06$ мм:

$$b = S_0(1 - \sin \varphi);$$

$$h = \frac{t}{\sin \varphi} + \frac{S_0}{2};$$

$$K_{op} = 1 + \frac{2t}{S_0 \sin \varphi},$$

где K_{op} — увеличение площади поверхности после ДР по сравнению с исходной поверхностью.

Результаты исследования и обсуждение. Фотографии шлифов капиллярных структур, полученных с разными подачами ДР, показаны на рис. 2 (для алюминия) и рис. 3 (для меди).

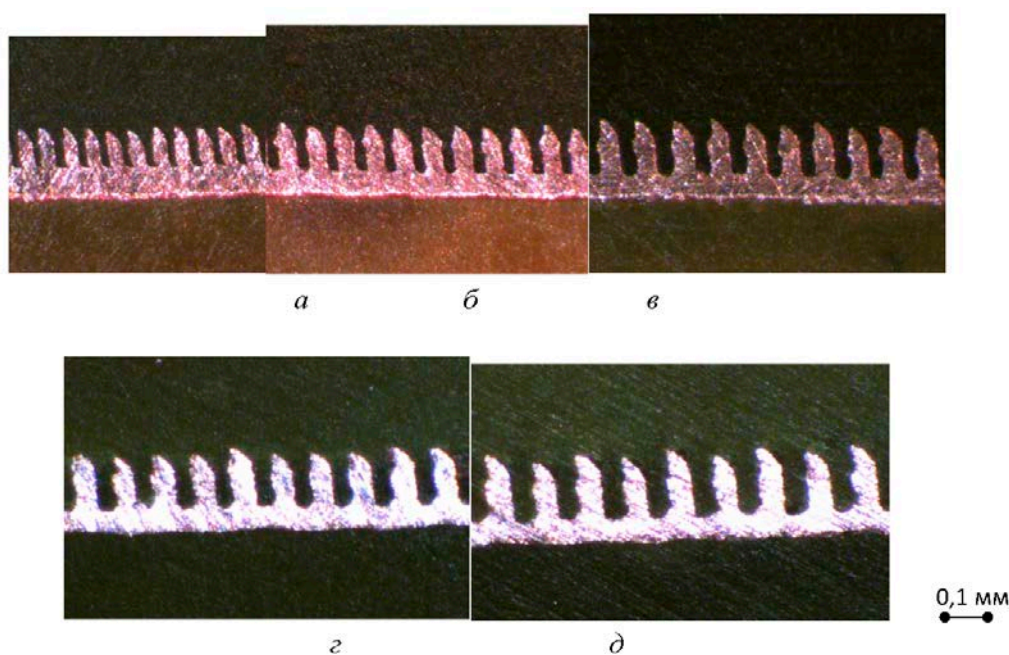


Рис. 3. Фотографии шлифов оребрения капиллярно-пористой структуры (медь М1), полученные ДР с разными значениями подачи S_0 :

a — $S_0 = 0,04$ мм/об; $б$ — $S_0 = 0,05$ мм/об; $в$ — $S_0 = 0,06$ мм/об;

$г$ — $S_0 = 0,07$ мм/об; $д$ — $S_0 = 0,08$ мм/об

В таблице представлены результаты измерения геометрических параметров полученных капиллярных структур на алюминии и меди.

**Параметры микрооробрения капиллярно-пористой структуры
на меди М1 и алюминии АД1 в зависимости от значения подачи**

Параметр	Значение параметра при различных значениях подачи, мм/об, для различных материалов									
	Медь					Алюминий				
	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
Расчетная ширина межреберного зазора b , мм	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040
Средняя ширина межреберного зазора $b_{ср}$, мм	0,024	0,028	0,035	0,039	0,043	0,018	0,028	0,034	0,039	0,045
Отклонение, %	20	14	16,7	11,4	7,5	-10	12	13,3	11,4	12,5
Расчетная высота ребра h , мм	0,140	0,145	0,150	0,155	0,160	0,140	0,145	0,150	0,155	0,160
Измеренная высота ребра $h_{из}$, мм	0,144	0,148	0,157	0,159	0,168	0,131	0,139	0,146	0,149	0,157
Отклонение, %	2,9	2,1	4,7	2,6	5,0	-6,4	-4,1	-2,7	-3,9	-1,9
Расчетный коэффициент увеличения площади поверхности $K_{ор}$	7,0	5,8	5,0	4,4	4,0	7,0	5,8	5,0	4,4	4,0
Измеренный коэффициент увеличения площади поверхности $(K_{ор})_{из}$	6,54	5,59	4,87	4,49	4,13	6,58	5,29	5,25	4,26	4,17
Отклонение, %	-6,6	-3,6	-2,6	2,0	3,3	-6,0	-8,8	-5,0	-3,2	4,3

Из таблицы видно, что наибольшее несоответствие расчетного и измеренного значения имеет ширина межреберного зазора. Это связано с тем, что ширина межреберного зазора не постоянна по его высоте и его среднюю ширину не совсем корректно сравнивать с теоретическим значением. Для высоты ребра и коэффициента увеличения площади поверхности получено приемлемое совпадение расчетных и измеренных параметров, не превышающее 8,8 %. Следует отметить, что реально полученная высота микроребер на меди больше расчетной, а для алюминия — меньше. По сравнению с медной алюминиевая капиллярно-пористая структура при малых шагах оробрения имеет сужение в верхней части межреберного зазора. Данный факт очень важен для функционирования тепловой трубы. Пар внутри трубы движется с большой скоростью в направлении, противоположном движению жидкости в капиллярной структуре. Меньшая площадь соприкосновения пара с жидкостью уменьшает негативное влияние торможения жидкости паром [6, 9].

Литература

- [1] Делендик К.И., Коляго Н.В., Пенязьков О.Г. и др. Разработка тепловых труб для охлаждения термонагруженных элементов электроники. *Инженерно-физический журнал*, 2019, т. 92, № 6, с. 2577–2584.
- [2] Bahman Z. Heat pipe design and technology. Taylor & Francis Inc, 2011.

-
- [3] Дан П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы. М., Энергия, 1979.
- [4] Матвеев А.Г., Зеленцов Д.В. Исследование процессов переноса тепла в тепловых трубах. *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии*. Самара, СГТУ, 2018, с. 347–351.
- [5] Yakomaskin A., Afanasiev V., Zubkov N., et al. Investigation of heat transfer in evaporator of microchannel loop heat pipe. *J. Heat Transfer*, 2013, vol. 135, no. 10, art. 101006. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4024502>
- [6] Абросимов А.И., Сысоев В.К., Зубков Н.Н. и др. Продольные капиллярные каналы для тепловых труб. *Прикладная физика*, 2010, № 1, с. 123–125.
- [7] Zubkov N., Yakomaskin A. Microgrooved wicks for heat pipes made by edge cutting machining. *2nd Int. Conf. "Heat Pipes for Space Application"*. М., 2014, с. 5.8.
- [8] Зубков Н.Н. Многофункциональная технология увеличения площади поверхности для повышения теплообменных и технологических свойств деталей. *Полет*, 2003, № 3, с. 41–46.
- [9] Pis'mennyi E.N., Khayrnasov S.M., Rassamakin B.M. Heat transfer in the evaporation zone of aluminum grooved heat pipes. *Int J. Heat Mass Transf.*, 2018, vol. 127-C, pp. 80–88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.07.154>

Лю Вэй — магистрант кафедры «Инструментальная техника и технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Зубков Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Лю Вэй. Влияние обрабатываемого материала на отклонение формы получаемого микрооробрения при получении капиллярно-пористых структур тепловых труб методом деформирующего резания. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 06(47). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-06-622>

INFLUENCE OF THE PROCESSED MATERIAL ON THE DECLINATION OF THE FORM OF THE RECEIVED MICROFINNING WHEN PRODUCING CAPILLARY-POROUS STRUCTURES OF HEAT PIPES BY THE METHOD OF DEFORMING CUTTING

Liu Wei

weishao1996@gmail.com

SPIN-code: 4341-6627

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The geometric parameters of the capillary-porous structure in the form of microfinning are the main factor determining the operational characteristics of the heat pipe. In this work, we studied the deviation of the shape of the obtained microfinning in the manufacture of capillary-porous structures of a heat pipe from various materials by the method of deforming cutting. The experiment was carried out on a screw-cutting lathe with the help of a fixture - a roller, which has the possibility of fixing and tensioning the processed strip. Photos are obtained of thin sections of finned capillary-porous structure from various materials obtained by deformation cutting with different feeds. The theoretical profile is calculated and the obtained forms of capillary structures are compared at various finning steps.

Keywords

Heat pipe, capillary-porous structure, deforming cutting, coefficient of increase of surface area, width of interfin gap, fin height, copper, aluminum

Received 17.04.2020

© Bauman Moscow State Technical University, 2020

References

- [1] Delendik K.I., Kolyago N.V., Penyaz'kov O.G., et al. Development of heat pipes for cooling thermally stressed electronics elements. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal* [Journal of Engineering Physics and Thermophysics], 2019, vol. 92, no. 6, pp. 2577–2584 (in Russ.).
- [2] Bahman Z. Heat pipe design and technology. Taylor & Francis Inc, 2011.
- [3] Dunn P.D., Reay D.A. Heat pipes. Pergamon, 1976. (Russ. ed.: Teplovyte trubyy. Moscow, Energiya Publ., 1979.)
- [4] Matveev A.G., Zelentsov D.V. [Study on heat transfer problems in heat pipes]. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'nye tekhnologii* [Traditions and innovations in building and architecture]. Samara, SGTU Publ., 2018, pp. 347–351 (in Russ.).
- [5] Yakomaskin A., Afanasiev V., Zubkov N., et al. Investigation of heat transfer in evaporator of microchannel loop heat pipe. *J. Heat Transfer*, 2013, vol. 135, no. 10, art. 101006. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4024502>
- [6] Abrosimov A.I., Sysoev V.K., Zubkov N.N., et al. Longitudinal capillary channels for heat pipes. *Prikladnaya fizika* [Applied Physics], 2010, no. 1, c. 123–125 (in Russ.).
- [7] Zubkov N., Yakomaskin A. Microgrooved wicks for heat pipes made by edge cutting machining. 2nd Int. Conf. "Heat Pipes for Space Application". Moscow, 2014, pp. 5.8.

- [8] Zubkov N.N. Multifunctional technology for the parts surface area enlargement for heat transfer and processing characteristics enhancement. *Polet* [Flight], 2003, no. 3, pp. 41–46 (in Russ.).
- [9] Pis'mennyi E.N., Khayrnasov S.M., Rassamakin B.M. Heat transfer in the evaporation zone of aluminum grooved heat pipes. *Int J. Heat Mass Transf.*, 2018, vol. 127-C, pp. 80–88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.07.154>

Liu Wei — Master's Degree Student, Department of Tool Engineering and Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Zubkov N.N., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Tool Engineering and Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Liu Wei. Influence of the processed material on the declination of the form of the received microfinning when producing capillary-porous structures of heat pipes by the method of deforming cutting. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 06(47). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-06-622.html> (in Russ.).