

Влияние обрабатываемого материала на форму каналов капиллярно-пористых структур тепловых труб, получаемых методом деформирующего резания

Зубков Н.Н.

профессор кафедры МТ2

Войнов С. А.

Студент гр. МТ2-102

Потребность в недорогих и надежных устройствах испытывает машиностроение для сброса тепла, охлаждения и нагрева объектов, трансформации плотности теплового потока, термостабилизации, терморегулирования, передачи и преобразования видов энергии. В последнее время особый интерес, в качестве эффективных передающих устройств для передачи тепловой энергии на расстояние, привлекают к себе тепловые трубы (ТТ), принципиальная схема которой представлена на рис.1, которая представляет собой герметичный корпус 1 с капиллярно-пористой структурой (КПС) 2, пропитанной рабочей жидкостью.

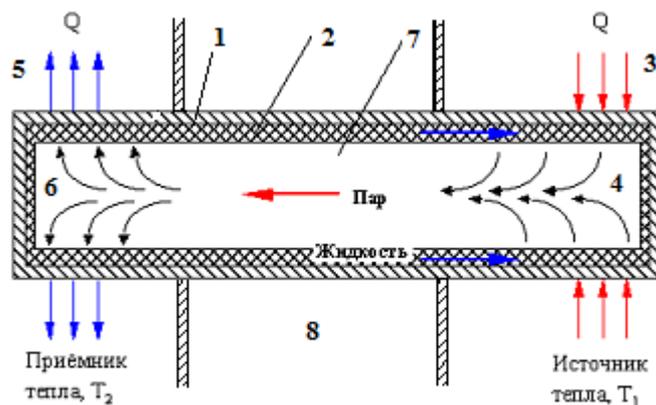


Рис. 1. Устройство и принцип работы ТТ.

1-корпус ТТ, 2-КПС, 3-зона нагрева, 4-испарение рабочей жидкости, 5-зона сброса тепла, 6-конденсация пара, 7-паровой канал, 8-адиабатический участок.

Участок 3, к которому подводится тепло, является испарителем 4, а участок 5, от которого оно отводится - конденсатором рабочей жидкости 6. При нагреве испарителя 4 рабочая жидкость испаряется из пор КПС 2 в паровой канал 7. При этом давление пара в этой зоне повышается. В то же время при охлаждении конденсатора 6 давление пара в нём понижается. Под действием возникшей разности давлений пар в паровом канале 7

движется от испарителя 4 к конденсатору 6, где он конденсируется. Образовавшаяся при конденсации жидкость впитывается в поры КПС 2 конденсатора 6 и за счёт капиллярных сил возвращается по порам в испаритель 4, где она вновь испаряется. Таким образом, ТТ работает на принципе замкнутого испарительно-конденсационного цикла. ТТ характеризуются очень высокой эффективной теплопроводностью в сотни раз превышающую теплопроводность медного стержня такого же диаметра. Теплопередающая способность ТТ чрезвычайно велика. Так, например, ТТ с рабочей жидкостью литием, при рабочей температуре 1700 К может передать тепловой поток 10...20 кВт/см². Диапазон рабочих температур действующих ТТ составляет от 4 до 2300 К [1].

ТТ не имеют движущихся частей, не потребляют энергии, не требуют обслуживания, обладают малым удельным весом, надежны и долговечны.

Наиболее важным элементом конструкции ТТ является КПС или фитиль.

Параметрами фитиля, которые являются основными в работе ТТ, являются следующие: минимальное гидравлическое сопротивление (высокая проницаемость) капиллярной структуры вдоль трубы для эффективного транспортирования жидкости из зоны конденсации в зону испарения, максимальная высота капиллярного поднятия (капиллярного впитывания) для возможности работы ТТ против сил гравитации, и максимальная каркасная (в радиальном направлении) теплопроводность для передачи тепла от стенки ТТ к порам КПС.

Главным препятствием на пути широкого внедрения ТТ является несовершенство их КПС. В настоящее время наибольшее распространение получили фитили из металлических сеток и спеченные из порошков или металлических волокон. Основные недостатки фитилей из металлических сеток - это низкая каркасная теплопроводность, возможность расслоения сеток или их отделение от стенки ТТ, неудовлетворительная работа по переносу рабочей жидкости против сил гравитации (низкая высота капиллярного поднятия). Применяемые фитили из спеченных порошковых материалов имеют высокое гидравлическое сопротивление, обусловленное наличием тупиковых и замкнутых пор. Спеченные фитили из металлических волокон обладают высокой проницаемостью ввиду полного отсутствия тупиковых и замкнутых пор, хорошим капиллярным впитыванием и высокой каркасной теплопроводностью. Существенным недостатком таких структур является крайняя нетехнологичность их получения, связанная с получением монодисперсных волокон и их дальнейшей переработкой для получения КПС.

При работе в условиях невесомости на космических аппаратах получили распространение конструкционные КПС (рис. 2), т.е. выполненные непосредственно на корпусе ТТ методом экструзии или прессования [2].

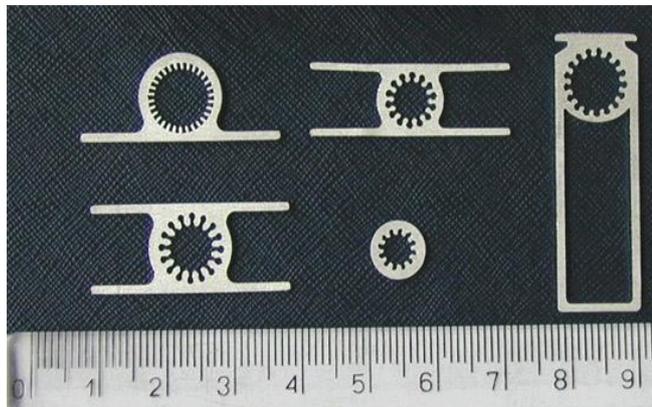


Рис. 2. Примеры конструкционных КПС из алюминиевого сплава [3].

Конструкционные КС обладают наибольшей жидкостной проницаемостью и минимальной каркасной теплопроводностью, но для существующих технологических методов высота капиллярного поднятия недопустимо мала ввиду существенных ограничений по минимально-получаемой величине межреберного зазора. Технология их получения накладывает также существенное ограничение на материал ТТ.

В МГТУ имени Н.Э. Баумана разработан новый метод механической обработки – деформирующее резание (ДР), основанный на подрезании слоев обрабатываемой заготовки и целенаправленном пластическом деформировании подрезанного слоя. Образующаяся при обработке методом ДР стружка не отделяется по своей узкой стороне от заготовки и образует развитый макрорельеф, состоящий из ребер и щелевого зазора между ними. Применение метода ДР при оребрении листовой заготовки позволяет получать капиллярные структуры с шириной капиллярного зазора от нескольких десятков микрометров и выше [4]. В дальнейшем, оребренный лист формируется в трубу, сваривается (спаивается) и герметизируется по торцам, образуя ТТ с конструкционным типом КПС (рис. 3).

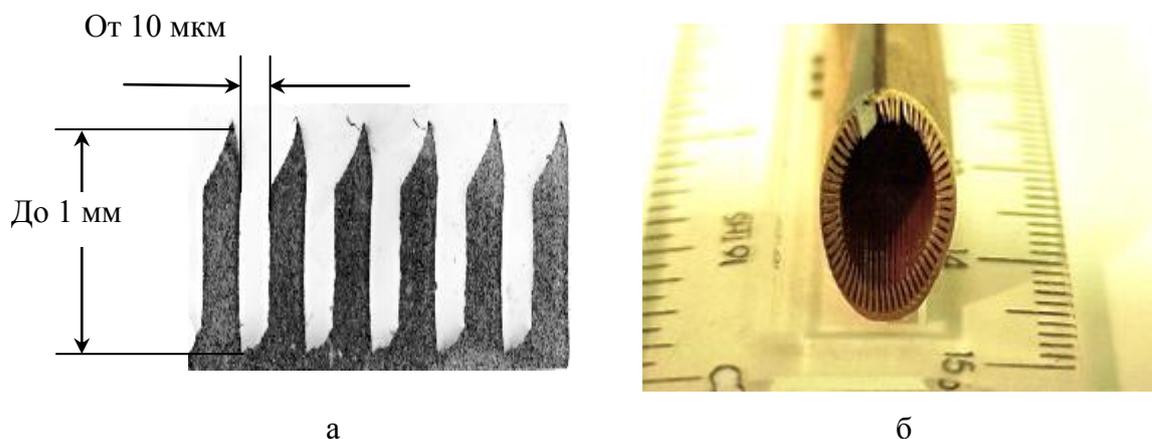


Рис. 3. КПС, полученная методом ДР (а) и ТТ, сформированная из оребренной ДР листовой заготовки (б).

Основными преимуществами конструкционных КС, получаемых ДР, являются постоянство параметров структуры, низкое гидравлическое сопротивление, обусловленное прямолинейностью капиллярных каналов и большой капиллярный напор ввиду возможности получения достаточно узких межреберных зазоров.

В рамках данного исследования для получения капиллярного оребрения методом ДР на тонколистовых заготовках разработана и изготовлена специальная оснастка к токарно-винторезному станку.

Оснастка представляет собой барабан для закрепления и натяжения листовой заготовки (рис. 4). Барабан имеет симметричные пазы 1, натяжные 2 и прижимные планки 3, пружины 4 для возврата натяжных планок, и винты 5, 6. Барабан выполнен из литьевого алюминиевого сплава. Для базирования барабана в центрах станка предусмотрены стальные втулки 7 с базовыми коническими отверстиями. Зажатие металлического листа осуществляется с помощью прижимных планок 3 винтами 6. Лист натягивается за счет утопления натяжных планок 2 внутрь барабана винтами 5.

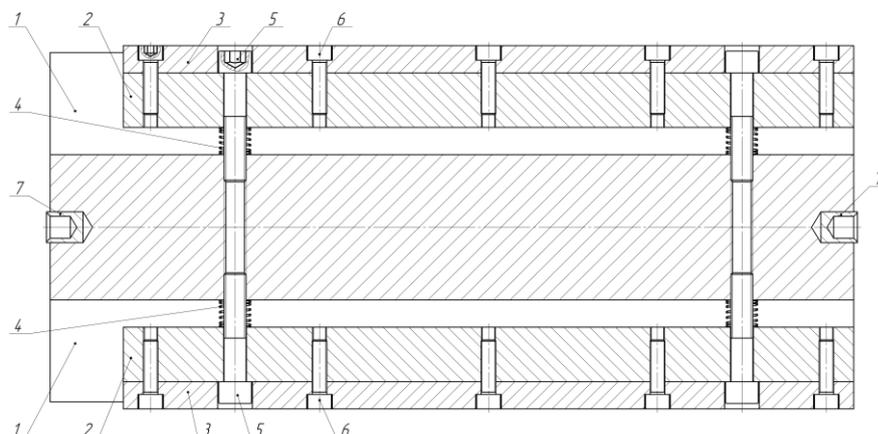


Рис. 4. Чертеж оснастки для получения капиллярного оребрения методом ДР.

Диаметр барабана составляет 196 мм (рис. 5) и позволяет обрабатывать одновременно два листа с габаритами 400x290 мм, толщиной 0,15...1 мм. Диаметр барабана выбран максисально возможным для уменьшения кривизны натягиваемых листовых заготовок с учетом его использования на наиболее распространенных токарно-винторезных станках, имеющих высоту центров станка над поперечным суппортом 100 мм. Симметричность расположения натяжных планок для барабана большого диаметра обусловлена возможностью равномерного натяжения листов по половине длины окружности, что проблематично для листа, охватывающего всю длину окружности барабана. Помимо этого, симметричность барабана в диаметральной плоскости устраняет проблему его балансировки. Передача крутящего момента от шпинделя станка на барабан, закрепленного в центрах, осуществляется одним кулачком, трехкулачкового патрона, вставленным в паз барабана. Остальные кулачки снимаются. После установки барабана на станке, для устранения возможных биений, он протачивается "как чисто".

Управление шириной межреберного зазора b осуществляется для вертикальных ребер назначением главного угла инструмента в плане φ при выбранной подаче S_0 [4].

$$b = S_0 \cdot (1 - \sin\varphi).$$

Высота оребрения h для вертикальных ребер, полученных ДР определяется по следующей формуле

$$h = t / \sin\varphi + 0,5 \cdot (S_0 \cdot \cos\varphi).$$

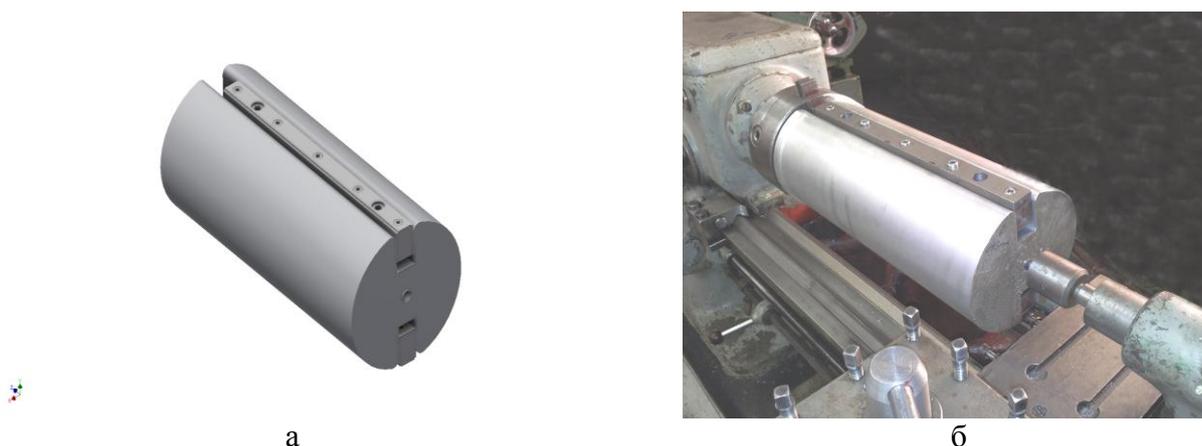


Рис. 5. Модель (а) и фотография (б) оснастки для получения капиллярного оребрения методом ДР.

К сожалению, теоретические формулы дают погрешность при вычислении ширины b и высоты h получаемого межреберного зазора. Это несоответствие обусловлено влиянием свойств обрабатываемого материала при пластическом течении в зоне ДР. В

настоящей работе выполнено сравнение формы получаемых капиллярных зазоров в зависимости от вида обрабатываемого материала.

Сравнивались поперечные срезы капиллярных структур, полученных ДР на разных материалах при одинаковых технологических параметрах их получения. Подача составляла $S_0=0,16$ мм при глубине резания $t=0,12$ мм. Инструмент для ДР имел углы режущее-деформирующего клина: $\varphi = 51^\circ, \varphi_1 = 90^\circ, \alpha = 6^\circ, \alpha_1 = 3^\circ$. В качестве заготовки использовались металлические листы из меди М1, алюминиевого сплава АД1, титана ВТ1-0 и коррозионностойкой стали 304L (российский аналог сталь 03Х18Н11). Полученные шлифы поперечных срезов капиллярных структур фотографировались на оптическом микроскопе с использованием приставки для получения видеоизображений на ПЭВМ Levenhuk D50L и представлены на рис. 6.

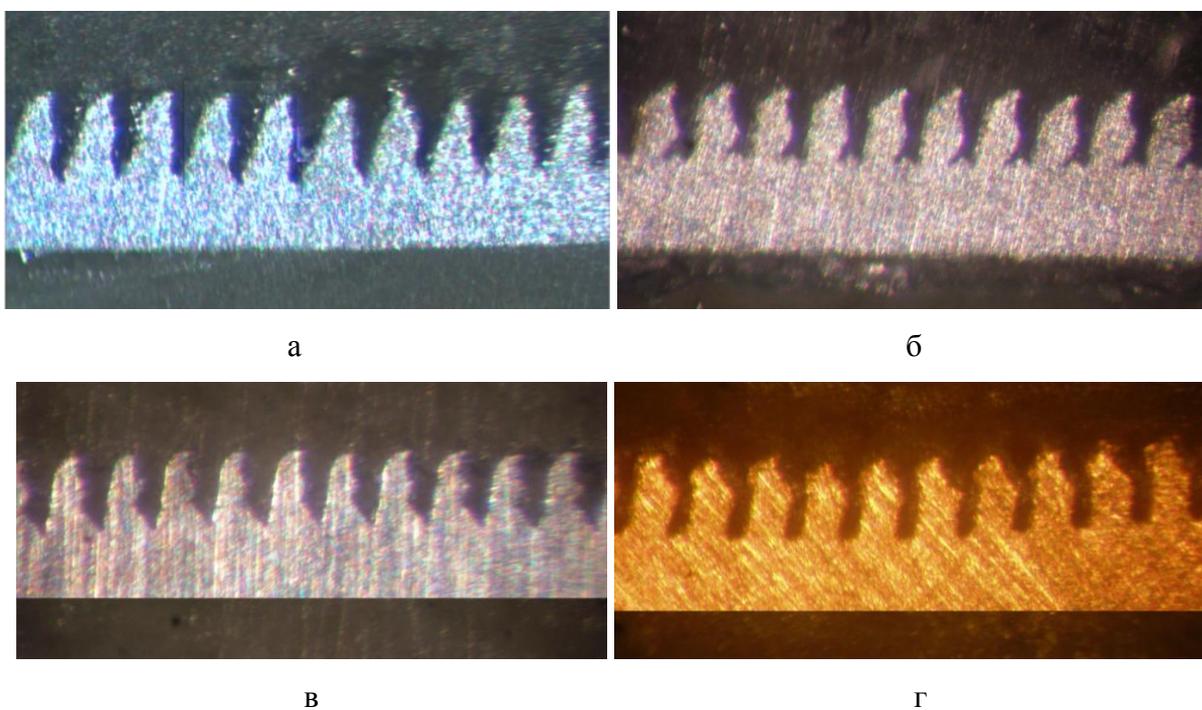


Рис. 6. Поперечные шлифы капиллярных структур, полученных ДР, на различных материалах: а - алюминиевый сплав, б - титан, в - коррозионностойкая сталь, г - медь.

Расчетные зависимости при указанных параметрах обработки дают величину межреберного зазора 0,036 мм при высоте ребра 0,205 мм. В действительности получены следующие результаты, представленные в табл. 1. Величина межреберного зазора измерялась на половине его высоты.

Таблица 1. Измеренные значения межреберного зазора и высоты ребра для разных обрабатываемых материалов

Материал	Ширина межреберного зазора b , мм	Высота ребра h , мм
Алюминиевый сплав	0,06	0,21
Титан	0,05	0,22
Коррозионностойкая сталь	0,09	0,22
Медь	0,04	0,24

По ширине b капиллярного зазора наибольшее соответствие с расчетными зависимостями получено для меди, по высоте h -для алюминиевого сплава. Максимальное отличие по b отмечается для коррозионностойкой стали и алюминиевого сплава. Для алюминиевого сплава и коррозионностойкой стали капиллярный зазор расширяется в верхней части. Для меди он постоянен. Для титана имеется неравномерность зазора с минимумом его ширины в нижней трети высоты ребра.

Форма капиллярного зазора является важным параметром, влияющим на работоспособность ТТ. Поскольку пар в ТТ движется с большой скоростью в направлении, противоположном движению жидкости в капиллярах КПС, то он может тормозить это движение. Поэтому для конструкционных ТТ стремятся уменьшить зону взаимодействия пара с жидкостью за счет сужения капиллярного зазора в его верхней части, что видно на поперечных срезах ТТ с конструкционной КПС (рис. 2). С этой точки зрения наименее благоприятная форма капиллярных каналов, расширяющихся в верхней части, сформировалась на алюминиевом сплаве и коррозионностойкой стали. Наиболее благоприятная форма капиллярных каналов, имеющих сужение, получена на титане.

Литература

1. Дан П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы.- М.: Энергия, 1979.- 272 с.
2. Ивановский М.Н., Сорокин В.П., Ягодкин И.В. Физические основы тепловых труб. - М.: Атомиздат, 1978, - 256 с.
3. Григорьян С.Г. Конструирование электронных устройств систем автоматизации и вычислительной техники. - Рн/Д.: Феникс, 2007. - 303 с.
4. Зубков Н.Н. Разработка и исследование метода деформирующего резания как способа формообразования развитых макрорельефов: Дис. ... докт. техн. наук. - М., 2001. - 478 с.
5. Особенности реализации метода деформирующего резания Зубков Н.Н. Технология машиностроения. 2001. № 1. С. 19-26.