

# CALCULATIONS OF METAL FIBRO-POROUS HEAT PIPES FOR HYDROGEN-AND-POWER ENGINEERING EQUIPMENT

**Shapoval A.A., Kostornov A.G., Moroz A.L, Shapoval Art.A. (1)**

Institute for problems of materials science NAS of Ukraine,  
Str. Krzhyzhanovsky 3, Kiev, 03142 Ukraine

(1) National technical university of Ukraine «Kiev polytechnical institute»  
Prospect of a Victory 37, Kiev, 03056, Ukraine

## Introduction

Creating new heat systems for hydrogen power use of heat pipes – extra-heat-conductivity devices is expedient, which opportunities till now are insufficiently known for the designers of the new heat equipment. That are received in Institute for problems of materials science NAS of Ukraine results allow to create highly effective heat pipes (HP) with metal fibroporous structures (MFPS), changes, successfully functioning in wide ranges, of working temperatures and density of heat fluxes.

## Results and discussion

Designing, creating and operating of heat pipes gives a line of questions, respecting successful decision the in many efficiency and the reliability of HP works. To their number it is possible to relate: 1) choice of materials of the case of HP, capillary structure (CS), liquid-heat-carrier; 2) accounts of the basic characteristics of HP, in particular, thermal resistance and working resource; 3) decision of technological problems of manufacturing of CS and HP; 4) definition of cost of HP (in conditions of their skilled and serial manufacture). The problems of selection of a complex of materials «shell + capillary structure + liquid-heat-carrier», basically, are solved [1,2]. One to, it is enough of the items of information on pairs «usual carbon of steel - organic liquids (ethanol, acetone, pentane etc.)» there are no in literatures sources. The important question is the choice of capillary structure. It is known, that CS shows a number (line) of the requirements being frequently inconsistent: for example, large height of a capillary raising provided with the small sized pores, resulting a decrease (reduction) of necessary permeability. From number of well-known types of CS in our opinion, deserve only metal fibro porous [3]

and metal-scum structures having good permeability (at the expense of small quantity (amount) deadlock pores). In mesh structures practically there are no distributive pores on the sizes necessary for distribution of normal vaporization in heat zones. Powder CS has unsatisfactory hydrodynamic characteristics, caused by features. Metal-scum structures are investigated insufficiently. The greatest practical interest is represented by accounts of thermal resistance in zones of heating and heat-tap (to condensation). Total thermal  $R_{hp}$  resistance of heat carrying by a pipe is its basic thermophysical characteristic. As the practice, designing testifies, the values of  $R_{hp}$  can differ on the order (real range for water HP - 0,07... 0,7 K/W). In the majority of cases, researches a number of the authors us metal powder structures, in our works metal fibrous CS are investigated in detail and complex.

In wide change ranges of MFCS parameters determining (geometrical – CS thickness and CS fibre sizes, structural – CS porosity, sizes of pores, sizes of pores distribution, is warm physical-frame and integral heat conductivity reliable empirical formulas are received. As a result, the accounts of heat exchange intensity in HP zones of heating in all range of change of a heat fluxes, accounts of a beginning of boiling of a liquid-heat-carrier, value of critical density  $q_{cs}$ , maximal coefficients of heat emission  $\alpha$  became possible.

The new approach to accounts of technical parameters of HP is offered for: 1) temperature difference of initial boiling ( $\Delta T_{in}$ ); 2) coefficients of heat emission  $\alpha$  (intensity of heat exchange) in zones of heating; 3) critical density of heat flux (in modes of a flooded zone of heating). For example, in particular, for account of heat emission coefficients  $\alpha$  in a HP

zone of heating the simple formula, as sedate dependence can be used

$$\alpha = c \cdot q^m \cdot \delta_{cs}^n \cdot \lambda_{sc}^p \cdot \Theta_{cs}^b \cdot D_{ef}^d \cdot A,$$

where  $q$  - density of a heat flux in a zone of heating;  $\delta$  - capillary structure thickness;  $\lambda$  - skeleton heat conductivity of capillary structure;  $\Theta$  - porosity of CS (given value);  $D$  - efficacious (middle) diameter of pores of given CS,  $A$  - parameter which is taking into account influence of pressure in HP;  $m, n, p, b, d$  - parameters of degrees dependent on the CS characteristics and such as the liquid- heat-carrier.

Semiempirical model of heat transfer processes at boiling (vaporisation) on surfaces under capillary-porous structures [5] is offered. The logic model allows interpret complex (difficult) influence of the MFCS characteristics on heat transfer processes of liquid vaporisation and explain essential (on the order) increase of heat emission intensity.

Actually up to we still have a questions of influence of pressure (distinguished from boiling on smooth surfaces) and influence of the CS characteristics on heat conductivity contacts. The  $\Delta T_{in}$ -length changes of a heating zone it requires the new approaches to definition of middle heat emission coefficients in given version. The heat transfer influence of many perspective liquids in HP, including, for middle-temperature range ( $T = 2000 \text{ }^{\circ}\text{C} - 4000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) is not investigated.

The work is executed with assistance of the Ukrainian scientific-technological Centre (Project NN-35).

## Conclusion

Some scientific and technical problems of development and designing of heat pipes – extra-heat-conductivity devices are considered, the prospects of which application in heat transfer systems of hydrogen power is indisputable. The heat pipes created and made by Frantsevith Institute for problems of materials science of NAS of Ukraine on the basis of developed and comprehensively investigated metal fibro porous structures, developed and comprehensively investigated by thermophysical characteristics. Decisions of existing scientific - technological problems briefly submitted in the report, and are necessary as a line of additional researches.

## References

1. P.D.Dunn, D.A.Reay. Heat Pipes. Pergamon Press, Oxford etc. 1976
2. Чи С. Тепловые трубы. Теория и практика: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1981.- 207 с.
3. Косторнов А.Г. Проницаемые металлические волокновые материалы. – К.: Техника, 1983. – 128 с.
4. Семена М.Г., Гершуни А.Н., Зари-пов В.К. Тепловые трубы с металловолокнистыми капиллярными структурами. – К.: Высшая школа, 1984. – 215 с.
5. Шаповал А.А. К моделированию процессов теплообмена при кипении на поверхностях с неупорядоченными капиллярными структурами. – Heat/Mass Transfer MIF-2000, Minsk, Труды: т.5. Теплообмен в двухфазных системах, с. 198-204.

# К РАСЧЕТАМ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ С МЕТАЛЛОВОЛОКНОВЫМИ СТРУКТУРАМИ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

**Шаповал А.А., Косторнов А.Г., Мороз А.Л.\*, Шаповал Арт. А.<sup>(1)</sup>**

Институт проблем материаловедения НАН Украины,  
ул. Кржижановского 3, Киев, 03142 Украина

(1) Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» проспект Победы 37, Киев, 03056 Украина

## Введение

При создании новых теплообменных систем для водородной энергетики целесообразно использование тепловых труб – сверхвысокотеплопроводных устройств, возможности которых до настоящего времени недостаточно известны проектировщикам теплообменного оборудования. Полученные в Институте проблем материаловедения НАНУ результаты позволяют создавать высокоэффективные тепловые трубы (ТТ) с металловолоконными структурами (МВКС), успешно функционирующие в широких диапазонах изменения рабочих температур и плотностей тепловых потоков

## Результаты и обсуждение

При конструировании, создании и эксплуатации тепловых труб возникает ряд вопросов, от успешного решения которых во многом зависит эффективность и надёжность работы ТТ. К их числу можно отнести: 1) выбор материалов корпуса ТТ, капиллярной структуры (КС), жидкоститеплоносителя; 2) расчёты основных характеристик ТТ, в частности, термического сопротивления и рабочего ресурса; 3) решение технологических проблем изготовления КС и ТТ; 4) определение стоимости ТТ (в условиях их опытного и серийного производства).

Проблемы подбора комплекса материалов «корпус+капиллярная структура+жидкость-теплоноситель», в основном, решены [1,2]. Однако, сведений по парам «обычные углеродистые стали – органические жидкости (этанол, ацетон, пентан и т.п.)» в литературе не достаточно. Важным

вопросом является выбор типа капиллярной структуры. Из числа известных типов КС внимания, по нашему мнению, заслуживают лишь металловолоконные [3] и металлопенные структуры, обладающие хорошей проницаемостью (за счёт малого количества тупиковых пор). В сетчатых структурах практически отсутствует распределение пор по размерам, необходимое для обеспечения нормального парообразования в зонах нагрева. Порошковые КС имеют неудовлетворительные гидродинамические характеристики, обусловленные особенностями строения. Металлопенные структуры исследованы пока недостаточно.

Наибольший практический интерес представляют расчёты термических сопротивлений в зонах теплоподвода (нагрева) и теплоотвода (конденсации). Суммарное термическое сопротивление  $R_{\text{ТТ}}$  переноса теплоты трубой является её основной теплофизической характеристикой. Как свидетельствует практика конструирования, значения  $R_{\text{ТТ}}$  могут отличаться на порядок (реальный диапазон для водяных ТТ – 0,07...0,7 °C/Вт). В отличие от частных, в большинстве случаев, исследований ряда авторов, использующих металлопорошковые структуры, в наших работах металловолоконные КС исследованы подробно и комплексно. В широких диапазонах изменения определяющих параметров МВКС (геометрических – толщины КС и размеров волокон, структурных – пористости, размеров пор, распределения пор по размерам, теплофизических – каркасной и интегральной (эффективной) теплопроводности получены надёжные эмпирические формулы. В результате стали возможными расчёты интенсивности теплообмена в зонах теплоподвода ТТ во всём диапазоне изменения

\* Факс: 38 (044) 424 2131 E-mail: shap@rst.kiev.ua

теплового потока, расчёты начала закипания жидкости-теплоносителя, величин предельных (критических) плотностей  $q_{кр}$ , максимальных коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_{max}$ .

Предложен новый подход к расчётам технических параметров ТТ: 1) температурного напора начала закипания жидкости ( $\Delta T_{нк}$ ); 2) коэффициентов теплоотдачи  $\alpha$  (интенсивности теплообмена) в зонах нагрева; 3) предельных (критических) плотностей тепловых потоков (в режимах залива зоны нагрева). В частности, для расчёта, например, коэффициентов теплоотдачи в зоне нагрева ТТ может использоваться простая формула, в виде степенной зависимости

$$\alpha = c \cdot q^m \cdot \delta_{кc}^n \cdot \lambda_{кc}^p \cdot \Theta_{кc}^b \cdot D_{эф}^d \cdot A,$$

где  $q^m$  – плотность теплового потока в зоне нагрева;  $\delta_{кc}^n$  – толщина капиллярной структуры;  $\lambda_{кc}^p$  – каркасная (скелетная) теплопроводность КС;  $\Theta_{кc}^b$  – пористость КС;  $D_{эф}^d$  –

эффективный (средний) диаметр пор;  $A$  – параметр, учитывающий влияние давления в ТТ;  $m, n, p, b, d$  – показатели степеней, зависящие от характеристик КС и типа жидкости-теплоносителя.

Предложена полуэмпирическая модель процессов теплообмена при кипении (парообразовании) на поверхностях с капиллярно-пористыми структурами [5]. Модель позволяет логически интерпретировать сложное влияние характеристик МВКС на процессы теплообмена. Практически неясными до настоящего времени остаются вопросы влияния давления (отличающегося от кипения на гладких поверхностях) и влияния характеристик КС на контактную теплопроводность. Существование изменения температурных напоров  $\Delta T_{нк}$  по длине зоны нагрева предполагает новые подходы к определению средних коэффициентов теплоотдачи. Не исследовано влияние на тепло-

обмен в ТТ многих перспективных жидкостей, в том числе, для среднетемпературного диапазона ( $T = 200^{\circ}C - 400^{\circ}C$ ).

Работа выполнена при содействии УНТЦ (проект NN-35).

## Выводы

Рассмотрены некоторые научно-технические проблемы разработки и конструирования тепловых труб – сверхтеплопроводных устройств, перспективы применения которых в теплообменных системах водородной энергетики бесспорны. Тепловые трубы, созданные и производимые Институтом проблем материаловедения НАН Украины на основе разработанных и всесторонне исследованных металловолоконных структур, обладают высокими теплофизическими характеристиками. Для решения научно-технологических проблем, кратко представленных в докладе, необходим ряд дополнительных исследований.

## Литература

1. P.D.Dunn, D.A.Reay. Heat Pipes. Pergamon Press, Oxford etc. 1976
2. Чи С. Тепловые трубы. Теория и практика: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1981.- 207 с.
3. Косторнов А.Г. Проницаемые металлические волокновые материалы. – К.: Техника, 1983. – 128 с.
4. Семена М.Г., Гершуни А.Н., Зари-пов В.К. Тепловые трубы с металловолоконными капиллярными структурами. – К.: Высшая школа, 1984. – 215 с.
5. Шаповал А.А. К моделированию процессов теплообмена при кипении на поверхностях с неупорядоченными капиллярными структурами. – Heat/Mass Transfer MIF-2000, Minsk, Труды: т.5. Тепломассообмен в двухфазных системах, с. 198-204.