

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СТРУКТУР ТЕПЛОВЫХ ТРУБ**

ПЕТЮШИК Е.Е.<sup>1</sup>, ВАСИЛЬЕВ Л.Л.<sup>2</sup>, РАК А.Л.<sup>1</sup>,  
ПЕТЮШИК Т.Е.<sup>2</sup>, КАЛИНИЧЕНКО А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственное научно-производственное  
объединение порошковой металлургии, ул. Платонова. 41,  
Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Белорусский национальный технический университет,  
220107 пр-т Партизанский, 77, Минск, Беларусь,  
e-mail: pet65@bk.ru

Решение проблем теплообмена в значительной мере обеспечивает общую эффективность теплоэнергетических систем и установок. Задачи теплового регулирования при малой разности температур между источником и стоком тепла успешно решаются применением так называемых «тепловых труб» (ТТ) [1].

Анализ основных видов ТТ и функций их конструктивных элементов позволил выделить ряд требований к капиллярно-пористым структурам (КПС, фитилей) ТТ, наиболее существенно влияющих на эксплуатационные показатели. В частности, установлено, что одним из путей повышения эффективности работы контурных ТТ является ликвидация неравномерности свойств в объеме КПС и на ее поверхности, особенно в области паровых каналов.

Традиционно паровые каналы фитилей ТТ формируют удалением слоя материала. Проведенное с помощью сканирующего электронного микроскопа «Нанолаб-7» («Оптон», ФРГ) сравнение микроструктуры и топографии поверхности КПС (рис. 1) из порошка Ni марки ПНЭ-2 ГОСТ 9722-97, полученной в результате обработки давлением жестким и эластичным деформирующим инструментом, обработкой резанием и электроэрозионной обработкой позволило констатировать следующее. За исключением процесса деформирования порошка эластичным деформирующим инструментом, во всех случаях имеет место нарушение структуры фитиля ТТ, которое выражается в уменьшении или увеличении пористости и среднего размера пор и негативно сказывается на работе ТТ. При получении паро-

вых каналов резанием наблюдается поверхностное закрытие пор, при электроэрозионной обработке, наоборот, имеем место увеличение размера пор за счет коагуляции частиц порошка. Для образцов КПС с относительной плотностью после спекания  $\rho = 0,65$  (пористость 35%) и средним размером пор 3–4 мкм, паровые каналы на поверхности которых получены фрезерованием, электроэрозионным способом и в процессе прессования, получены следующие характеристики. При обработке резанием средний размер пор на поверхности канала уменьшился до 1,5 мкм при снижении пористости до 27%. Электроэрозионная обработка привела к увеличению размера пор на поверхности канала до 10–15 мкм и к увеличению пористости до 45%.

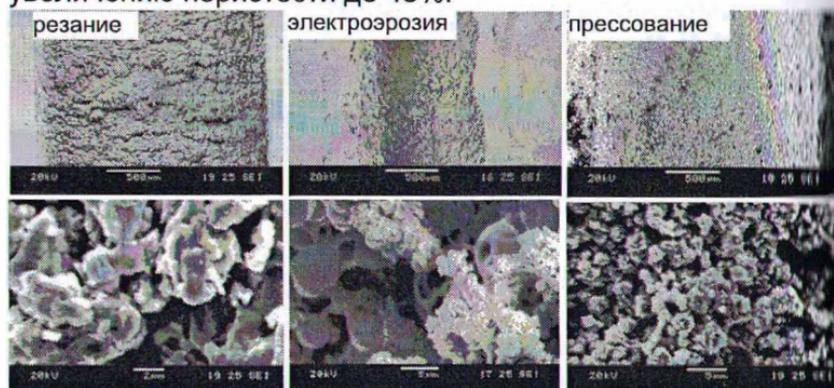


Рис. 1. Вид поверхностей паровых каналов

Поверхность паровых каналов после их обработки давлением не имела структурных различий по сравнению с основным массивом пористого материала. Неравномерность плотности находилась в пределах 3%.

Таким образом, повышение эксплуатационных характеристик ТТ может быть связано с совершенствованием технологии получения фитилей ТТ, обеспечивающей заданную гомогенную структуру по объему фитиля, включая локальные его поверхности, являющиеся поверхностями раздела фаз жидкость – пар (паровые каналы).

Формирование паровых каналов на поверхности КПС обработкой давлением способно обеспечить равномерность структурных свойств пористого материала, сократить

временные и трудовые затраты. Однако при этом усложняется форма прессовки и, соответственно технологии ее получения. Анализ особенностей формования изделий с развитой поверхностью, схем и способов

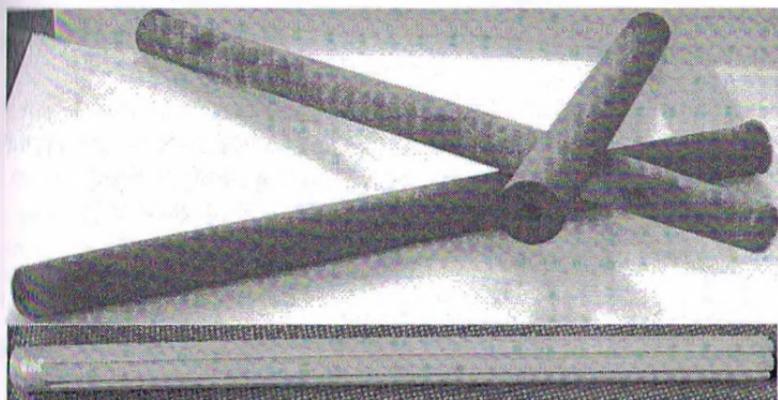


Рис. 2. Вид прессовок с гладкой поверхностью и КПС со сформованными паровыми каналами

прессования показал, что стабильность качества порошковых прессовок сложной формы достигается использованием способа радиального прессования [2].

Неполная применимость существующих методик расчета деформирующего инструмента и технологических параметров процесса радиального прессования для конкретных изделий [3] ставит задачи получения исходных данных для проектирования деформирующего инструмента с учетом технологических ограничений на стадии прессования заготовок, обусловленных их геометрической формой и размерами, а также реологическими свойствами порошка. Проведенный цикл исследований зависимости плотности прессовок в виде труб из порошка Ni марки ПНЭ-2 в диапазоне давлений прессования 40–150 МПа позволил спроектировать прессформы для радиального прессования прессовок в виде пробирок (рис. 2) [4] с размерами: наружный диаметр (для прессовки КПС со сформованными паровыми каналами – диаметр описанной окружности) – 18 мм, диаметр отверстия – 6 мм, длина – 260 мм, толщина доньшка – 6 мм, близких по размерам и форме к готовому изделию. Установлены конструктивные и технологические условия, обес-

печивающие требуемое качество прессовок: конфигурация наружной поверхности заготовки с паровыми каналами должна быть согласована с траекторией восстановления исходных размеров и формы рабочей поверхности эластичной деформирующей оболочки. Спекание спрессованных заготовок КПС производили в вакууме при температуре 850–900 °С.

Предложенная технология изготовления фитилей ТТ обеспечивает получение заданной гомогенной структуры по объему фитиля, включая область паровых каналов на их поверхности и успешно использована на практике [5, 6].

### *Литература:*

1. Васильев Л.Л. Теплообменники на тепловых трубах. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 143 с.
2. Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов. – Мн.: Дзэбор, 1998. – 258 с.
3. Theoretical and Technological Fundamentals of Pressing Porous Powder Articles of the Complex Shape / O. Reut, Y. Piatsiushyk, D. Makarchuk, A. Yankubouski // 15 International Plansee Seminar, Austria, Reutte, 2001, V 3, S. 271–284.
4. Пол. реш. от 13.06.2008 г. по заявке на патент РБ № а20060753 МПК7 B 22 F 3/02. Форма для прессования изделий из уплотняемых материалов / Калиниченко А.С., Петюшик Е.Е., Реут О.П., Петюшик Т.Е., Ярмолинский В.И. – Заявл. 19.07.2006.
5. Vasiliev Jr., L.L. Loop heat pipe for cooling of high power electronic components / L.L. Vasiliev Jr., A.G. Kulakov, D. Lossouarn, C. Romestant, A. Alexandre, Yves Bertin, Ya. Ya. Piatsiushyk, V.E. Romanenkov // VI Minsk International Heat and Mass Transfer Forum MIF-2008, Minsk, May 19-23, 2008. – P. 18-20.
6. Vasiliev Jr., L.L. Loop heat pipe for cooling of high power electronic components / L.L. Vasiliev Jr., D. Lossouarn, C. Romestant, A. Alexandre, Yves Bertin, Ya. Ya. Piatsiushyk, V.E. Romanenkov // International Journal of Heat and Mass Transfer. – Available online 3 August 2008. – [<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.06.016>].