

центраторами. - В кн.: Вибрационная прочность и надежность авиационных двигателей. Тез. докл. УШ Всесоюзной науч.-техн. конференции. - Куйбышев: КуАИ, 1981, с. 80.

6. Сегерлянд Л. Применение метода конечных элементов. - М.: Мир, 1979. - 392 с.

7. Термопрочность деталей машин /Под ред. И.А.Биргера и Б.Ф.Шора. - М.: Машиностроение, 1975. - 455 с.

УДК 621.778

А.М.Жижкин, Е.А.Иажуров, А.И.Онуфриенко

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФИТИЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ ИЗ ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА МР

В настоящее время в машиностроении нашли широкое применение теплопередающие устройства на основе тепловых труб (ТТ). Большой интерес к таким устройствам проявляется при проектировании летательных аппаратов и их энергетических установок [1].

Одним из важнейших конструктивных элементов ТТ является фитиль. Условно различают три основных типа его конструкций: системы с открытыми канавками, пористые структуры с взаимосвязанными порами и составные конструкции, представляющие собой комбинацию первых двух типов.

Теплопередающие характеристики ТТ зависят от капиллярных гидравлических и теплофизических свойств фитилей.

Результаты исследования теплопередающих и эксплуатационных свойств ТТ показали технологические и экономические преимущества фитилей из МР в сравнении с традиционно используемыми [2] и позволили определить области их эффективного применения. Широкое внедрение в конструкцию ТТ фитилей из МР требует разработки технологии их изготовления и исследования влияния технологических факторов на работоспособность.

Анализ существующей технологии изготовления изделий из МР [3] показал невозможность использования традиционных методов для создания тонкостенных конструкций с большим соотношением длины  $L_f$  к поперечному размеру  $D_f$  ( $L_f/D_f \geq 500$ ). В связи с этим целью работы является разработка способов изготовления фитилей ТТ из материала МР с соотношением  $L_f/D_f \geq 500$ .

Технология изготовления фитилей из упругого пористого материала МР включает в себя ряд общих положений, характерных для изготовления упругодемпфирующих элементов из этого же материала [3]. Своеобразие способа изготовления фитилей из МР состоит в формировании и прессовании заготовки [4]. Изготовление фитиля включает в себя следующие основные этапы: 1 - выбор материала проволоки; 2 - навивка спирали; 3 - очистка спирали; 4 - формирование заготовки; 5 - прессование; 6 - очистка фитиля.

Выбор материала проволоки для фитиля ТТ определяется несколькими факторами. Наиболее существенными из них являются совместимость материала проволоки с рабочей жидкостью (теплоносителем) и материалом стенки корпуса ТТ, температурный диапазон работы ТТ, доступность и стоимость применяемой проволоки, технологичность при изготовлении фитиля и ТТ в целом.

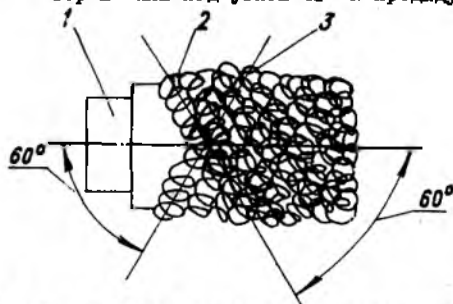
Диаметр проволоки ( $d_n$ ) определяется условиями работы ТТ (в зависимости от действия массовых сил), гидравлическими и капиллярными свойствами, возможностями технологии изготовления фитиля.

Для изготовления фитилей ТТ, работающих в условиях отсутствия массовых сил при применении в качестве теплоносителя жидкого аммиака, рекомендуется применение проволок диаметром 0,07 - 0,12 мм из материала ЗИГ08А-ВМ или типа Х18Н10Т. Увеличение диаметра приводит к получению больших структурных неоднородностей конструкций. Применение диаметров проволок менее 0,07 мм ведет к реактому возрастанию трудоемкости изготовления и снижению передаваемого максимального теплового потока.

Навивку спирали для изготовления фитилей из материала МР можно производить на любом предназначенном для этого станке [3]. При автоматическом формировании заготовки целесообразно производить навивку непрерывной невращающейся спирали для непосредственной ее подачи в автомат формирования заготовки. Своеобразие предлагаемого способа навивки заключается в выборе характерного размера спирали  $\bar{D}_c = D_c / d_n$ , где  $D_c$  - диаметр спирали. Если при изготовлении амортизаторов  $D_c = 10$ , а шаг вытяжки спирали  $T = D_c$ , то при изготовлении цилиндрических тонкостенных фитилей рекомендуется относительный диаметр спирали  $\bar{D}_c = 7 - 8$ , а шаг вытяжки спирали  $T = 0,65 D_c$ . Приведенные соотношения позволяют повысить равномерность структуры в радиальном и осевом направлениях, вследствие чего улучшается товарный вид изделий, повышаются стабильность их транспортных свойств (капиллярных и гидродинамических) и осевая статическая прочность (не наблюдается расслоений при упругоэластической вытяжке фитиля).

Для обеспечения условий работы вращающихся узлов станка при навивке спирали применяется смазка (чаще всего на основе углеводородных веществ). Поэтому на поверхности спирали всегда присутствует пленка из смазки, пыли и других посторонних включений. Наличие пленки ухудшает, а в ряде случаев препятствует смачиванию внутренней поверхности фитиля жидким теплоносителем. Так как внутренняя поверхность фитиля значительно превышает площадь контактирующих поверхностей, то удаление загрязняющей пленки в ряде случаев, как показали экспериментальные исследования, оказывается весьма сложным и трудоемким процессом по сравнению с другими технологическими операциями изготовления. Поэтому были разработаны мероприятия по очистке фитиля на нескольких стадиях его изготовления. Значительное снижение затрат времени на очистку дает мойка спирали после ее навивки. Операции по очистке спирали необходимо выполнять в следующей последовательности. Загрузить необходимое для изготовления партии фитилей количество спирали в емкость и залить ее мощной жидкостью, например фреоном-113, на 1,5-2 часа. Затем подвергнуть смоченную спираль мойке в ультразвуковой моечной установке в течение 10-15 минут, после чего мощную жидкость слить и просушить спираль в сушильном шкафу. Промытую спираль хранить в герметизированной жесткой таре.

Качество изготовления фитиля из материала МР во многом зависит от распределения металла по всему объему фитиля. Равномерное распределение материала по длине и в окружном направлении фитиля достигается путем наматки с натягом предварительно вытянутой проволоки спирали на технологический стержень виток к витку (рис. 1). Так наматывают первый слой. Последующий слой 2 спирали укладывают под углом  $60^\circ$  к оси стержня. Следующий слой 3 наматывают под углом  $-60^\circ$  к оси стержня или под углом  $60^\circ$  к предыдущему слою.



Р и с. 1. Схема формирования заготовки: 1-технологический стержень; 2-  $i$  -й слой заготовки; 3- ( $i + 1$ )-й слой заготовки

Такой способ послойного формирования заготовки позволяет равномерно в пределах структурной неоднородности распределить материал по длине фитиля.

Уложенную на технологический стержень спираль необходимо уплотнить перед проведением операции прессования.

Для этого заготовку, не снимая со стержня, укатывают на резиновом коврик до внедрения между собой витков спирали.

После укатки заготовку необходимо измерить и определить число переходов при прессовании. Число переходов определяют следующим образом. Вычисляют общую степень обжатия по зависимости

$$\epsilon_0 = 1 - D_{\text{ш}} / D_3, \quad (1)$$

где  $D_{\text{ш}}$ ,  $D_3$  - соответственно диаметры готового изделия и заготовки.

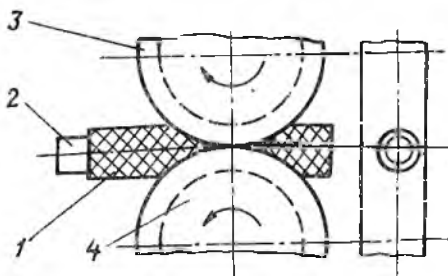
Для обеспечения равномерности, однородности и воспроизводимости структуры фитиля степень обжатия  $\epsilon_i$  при одном переходе не должна превышать 5-8%. Вычислим по зависимости (1) соотношение диаметров  $D_{i+1} / D_i$ , где  $D_i$  и  $D_{i+1}$  - диаметры соответственно  $i$ -го и  $(i+1)$ -го переходов прессования. Число переходов, необходимых для выполнения операции прессования, определяется по зависимости

$$n = \frac{\epsilon_0}{\epsilon_i} + 1. \quad (2)$$

При этом необходимо помнить, что снижение степени обжатия  $\epsilon_i$  ведет к увеличению числа переходов при прессовании, что вызывает раскатку (чрезмерное удлинение готового изделия). Увеличение степени обжатия приводит к значительной неоднородности структуры в окружном направлении и даже к разрушению самого фитиля. Неоднородность тем больше, чем выше пластичность основного металла проволоки.

Прессование фитиля производят прокаткой заготовки I, одетой на технологический стержень 2 между роликами 3, 4 (рис. 2). При прокатке заготовку I вместе со стержнем 2 поворачивают вокруг продольной оси для исключения некруглости поверхности, снижения разностенности и технологической неоднородности структуры фитиля. Последний, калибровочный, проход выполняют без поворота стержня 2 с заготовкой I.

При выполнении переходов операции прессования в ряде случаев полезно применение упоров, одетых на технологический стержень. Их используют для



Р и с. 2. Схема прессования фитиля: I-заготовка; 2-технологический стержень; 3, 4 - ролики

предотвращения вытягивания фитиля и для формирования ровных торцов. Однако применение упоров усложняет процесс прессования. Поэтому применять их следует лишь в обоснованных случаях, когда необходимо точно выдержать структурные и геометрические характеристики пористого изделия.

Для прессования (прокатки) применялись ролики, изготовленные из конструкционной малоуглеродистой стали. Чистота обработки формирующих поверхностей  $R_z$  20. При выполнении калибровки на формирующих поверхностях роликов допускается наличие следов - отпечатков от проволоки.

Изготовленный фитиль подвергают предварительной очистке в ультразвуковой установке по методике, приведенной выше для очистки спирали.

Разработанный способ изготовления фитилей из упругого пористого металла МР позволяет получать фитили ТТ с толщиной стенок не менее 0,3 мм, пористостью от 60 до 90%.

Описанная технология изготовления фитилей позволяет снизить затраты на их производство и повысить надежность обеспечения рабочих параметров тепловых труб.

#### Л и т е р а т у р а

1. Низкотемпературные тепловые трубы для летательных аппаратов / Под ред. Г.И.Воронина. - М.: Машиностроение, 1976. - 200 с.
2. Жижкин А.М., Онуфриенко А.И. Исследование транспортных свойств фитилей из материала МР. - В сб.: Вопросы прикладной механики в авиационной технике.-Куйбышев, 1981, с. 84-89. (Рукопись деп. в ВИНТИ № 1210-61 ДАП. 18.03.1981).
3. Тройников А.А., Пичугин А.Д. Вопросы технологии изготовления упругодемпфирующих элементов из материала МР. - В сб.: Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов.-Куйбышев: КуАИ, 1981, с. 101-112.
4. А.с. 997931 (СССР). Способ изготовления пористых изделий из нетканого проволочного материала / А.М.Жижкин и др. - Опубл. в Б.И., 1983, № 7.