

УДК 621.791.36

## ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ПАЙКА ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Юлия Александровна Пьянкова

*Студент 6 курса,*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.М. Неровный,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Для эффективного охлаждения рабочих жидкостей авиационного газотурбинного двигателя широко применяют трубчатые теплообменники. Основным элементом такого теплообменника – трубка из хромоникелевой нержавеющей стали диаметром 2-5 мм и толщиной стенки 0,2-0,5 мм соединяется с трубной доской толщиной 3,0 мм при помощи высокотемпературной пайки припоем на медной основе.

Технологический процесс пайки может проводиться с общим нагревом в вакуумной печи, в печи с контролируемой атмосферой, а также с локальным нагревом при двухкоординатном сканировании электронного луча.

Выбор в пользу локального источника нагрева связан с трудностями, возникающими при пайке с общим нагревом: неравномерность теплового поля за счет сложной геометрической формы теплообменника, и как следствие необходимость длительного нагрева, что приводит к деформации тонкостенных трубок.

В литературе практически отсутствуют данные по выбору параметров сканируемого локального источника нагрева применительно к процессам пайки. Только в работе [3] показаны возможности высокотемпературной пайки локальными источниками энергии. Очевидно, это связано с разнообразием возможных схем паяных соединений, а также с широким кругом паяемых материалов и припоев. Имеющиеся публикации по сканируемым источникам нагрева не дают ответа на вопросы, связанные с проблемой пайки, т.к. в этих работах не вскрываются закономерности создания в зоне нагрева температурного поля близкого к стационарному с требуемой неравномерностью.

Знания требуемой эффективной мощности источника энергии для пайки развитых поверхностей явно недостаточно. Для того, чтобы получить близкое к стационарному и равномерное температурное поле как по толщине

трубной доски, так и по ее поверхности нам необходимо знать локальные тепловые параметры источника – диаметр пятна нагрева, характер распределения плотности мощности по пятну нагрева и плотность мощности в центре пятна нагрева. Кроме этого, для создания квазиравномерного распределения плотности мощности по всей поверхности необходимо знать по какому закону перемещать электронный луч по поверхности трубной доски и с какой скоростью, чтобы предотвратить перегрев паяных соединений, а тем более их подплавления.

С целью определения оптимальных параметров и закона двухкоординатного сканирования электронного луча была построена математическая модель тепловых полей при электронно-лучевой пайке трубчатого теплообменника. При решении уравнения математической модели в программной среде MATLAB были определены значения параметров режима пайки:

- ускоряющее напряжение  $U_{\text{уск}} = 60 \text{ кВ}$  ;
- ток луча  $I_{\text{л}} = 35...40 \text{ мА}$  ;

- частота сканирования  $f_x = 21 \text{ Гц}$ ,  $f_y = 20 \text{ Гц}$ ;
- диаметр электронного луча  $d_{\text{л}} = 0,7 \dots 0,8 \text{ см}$ ;
- площадь нагрева  $Q_{\text{растр}} = 100 \times 100 \text{ мм}$ ;
- время нагрева  $t_{\text{н}} = 300 \text{ с}$ .

#### Литература

1. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев и др. - М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Коновалов А.В., Куркин А.С., Макаров Э.Л. и др. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
3. Рыкалин Н.Н., Зуев И.В., Углов А.А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. - М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.