

ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ПАЙКИ КОНУСНЫХ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Д.Л. Харичева¹, А.О. Кудрявцев²

¹ Амурский Государственный Университет; ² Московский Государственный Технический Университет им Н.Э. Баумана

E-mail: kudriav@mail.ru

It was developed the technology of joining metals to ceramics by active metal brazing a result of joint work with RMC "Lasers and Apparatus TM". In particular it was proposed the model of adhesive contact and thermal models of process of joining flat and cone connections of ceramic materials of industrial types with metals.

Laser radiation provides concentration rather big energy on small surfaces that causes local process of heating. Due to this process it is possible to carry out technological process in immediate proximity from ceramic-metal joints by manufacturing multipin contacts, to conduct the brazing of various refractory and active metals and alloys with the minimal infringement of initial structure of a material in a zone of thermal influence, as well as to make the brazing optically transparent ceramic materials with metals. The necessity of use of vacuum chambers and protective environments disappears in conditions of the laser brazing of ceramics with metal because this technological process can be made on air.

The ways of manufacturing of tight ceramic-metal units have been developed by a method of the active brazing with use of ceramics including ceramics transparent for laser radiation, the technological modes of reception of ceramic-metal connections have been defined by a method of the laser active brazing.

Металлокерамические конструкции уже давно нашли широкое применение, в различного рода электронных приборах и аппаратах, где используются благодаря их механической прочности изоляционным свойствам и способностью поддержания высокого вакуума. Спаи металла с керамикой широко используются в атомной промышленности, где служат вакуумплотными выводами для силовых и сигнальных кабелей из грязной зоны реактора через защитные оболочки.

Вопросам лазерной пайки посвящен ряд исследований и работ таких авторов, как Костюкова Н.С, Ерошева В.К., Харичевой Д.Л., Виноградова Б.А., вопросы применения лазерного излучения находится в процессе исследования. Надежность и качество получаемых металлокерамических узлов зависит от правильного выбора материалов конструктивного построения самого узла, а также особенностей технологии получения.

Условия эксплуатации гермовводов в грязной зоне ядерного реактора, обслуживание которой затруднено, предъявляют требования по высокой механической прочности, стойкости узлов к агрессивным средам, герметичности, функционированию при воздействии сильных нейтронных и γ потоков.

Конструкция металлокерамического соединения должна исключать разрушение или перегрев диэлектрика. Допускается общая степень натекания не выше 10^{-7} Па*м³/с сухого гелия при температуре 293 ° К. Кроме того, гермовводы должны сохранять в аварийном режиме работоспособность при:

- а) воздействии температуры до 1073 ° К в течение 300 секунд;
- б) 1000 термоциклах 293 – 873 – 293 ° К;
- в) сейсмичности 9 баллов.

Традиционная конструкция гермоввода представляет собой металлокерамическое соединение, сконструированное по принципу охватывающей металлической втулки, получение неразъемного соединения происходит печным способом, что низко технологично и имеет большой процент брака т.к. за счет большого энергозатрата происходит микрорастрескивание керамики. Кроме того, продолжительность пайки МКС по традиционной технологии может составлять несколько часов.

Метод пайки с применением активных металлов заключается в том, что на поверхность керамической детали наносят слой титана путем втирания или методом магнетронного напыления. Затем на металлизированную керамику электролитическим осаждением наносят слой чистой меди. После этого деталь собирают и производят нагрев и лазерным излучением металлической части соединения.

Лазерное излучение фокусируют на металлическую деталь. Необходимым условием получения качественного МКС является наличие между деталями хорошего контакта, зазор между спаиваемыми деталями не должен превышать более 0.1 мм. Наиболее удачной является конструкция конусного охватывающего соединения, где увеличение контактируемой площади и уменьшение зазоров происходит за счет опрессовки.

Операции сборки узла и последующей лазерной пайки, определяют качество получаемых изделий – их механическую прочность и вакуумплотность. Именно сборка металлокерамического соединения задает начальные напряжения и деформации, возникающие в материалах. При воздействии лазерного излучения на материалы на поверхности формируется высококонцентрированный источник тепла, что приводит к появлению значительных напряжений в металлической детали, причем в некоторых случаях наблюдалось образование трещин и разрывов.

Предложенная конструкция гермоввода представляет собой охватывающее соединение и состоит из керамической втулки (микролит), на коническую поверхность которой нанесены слой хрома (1 мкм) и медный припой (100 мкм), и двух тонкостенных металлических втулок (1X18H10T).

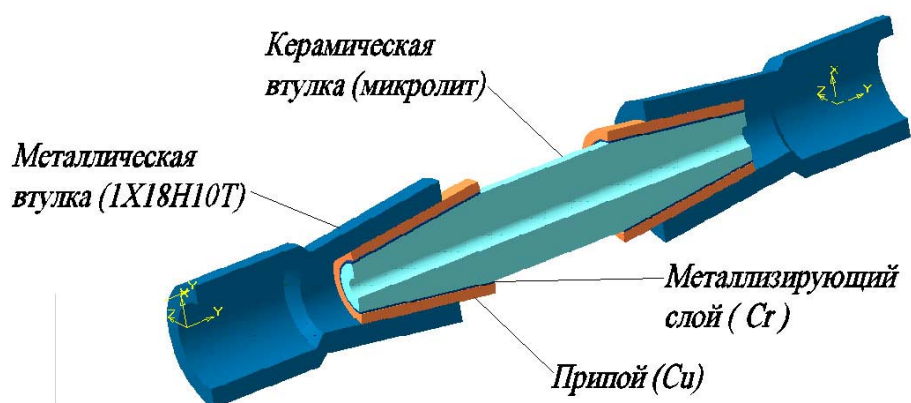


Рис 1. Конструкция гермоввода.

Процесс пайки металлокерамических узлов зависит от нескольких основных факторов, определяющих технические свойства соединений. К ним относятся: плотность мощности лазерного излучения, скорость перемещения детали, прижимное усилие для конусных соединений.

На металлизированную поверхность конуса керамической втулки наносился слой флюса затем изделие собиралось и подпрессовывалось прессом. Гермоввод устанавливался в цанговом зажим вращательного приспособления. Процесс пайки ведется таким образом, чтобы максимально сократить время пребывания припоя в расплавленном состоянии и не допускать перегрева узла.

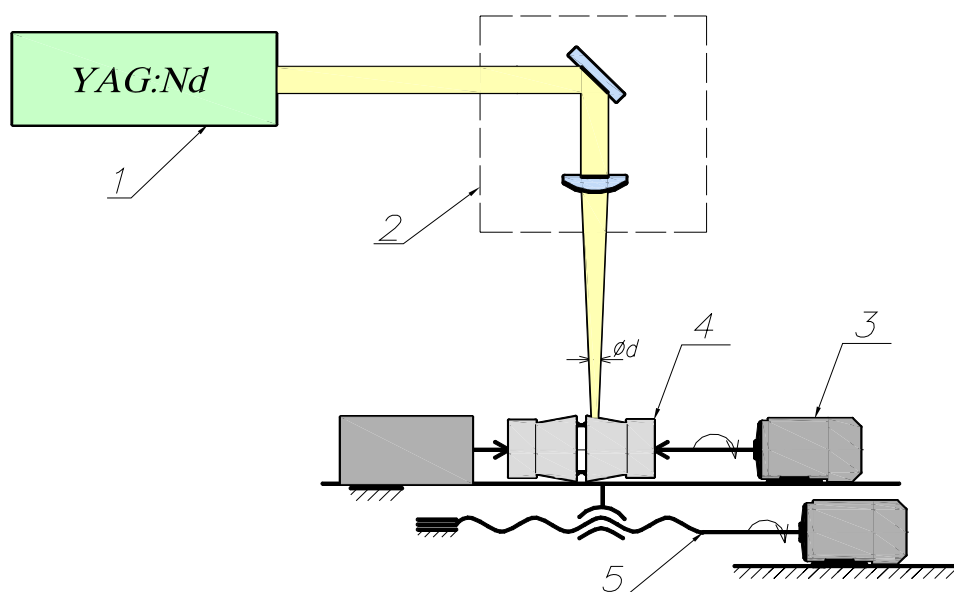


Рис 2. Схема эксперимента (1 – излучатель, 2 - фокусирующая система, 3 - вращательное приспособление, 4 – гермоввод, 5 - координатный стол)

Однако неравномерность начала плавления припоя увеличивает разброс по времени нахождения его в жидком состоянии поэтому, пайка проводилась по кольцу за 2 прохода.

В качестве критерия определяющего качество полученного соединения была принята вакуумная плотность гермоввода. Герметичность оценивалась на гелиевом течеискателе VIC MS40.

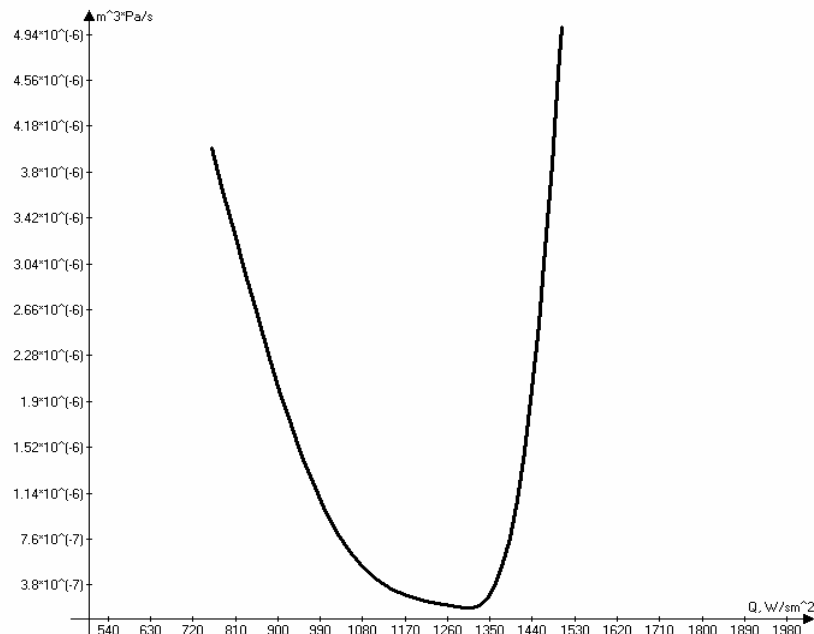


Рис.3. Экспериментальное исследование вакуумной плотности МКС полученного методом лазерной пайки в зависимости от плотности мощности ($F=25$ Н, $v=1$ мм/с)

Недостаточный прогрев металла приводит к полному или частичному не расплавлению медного припоя, и как следствие, отсутствие герметичности. Избыточная плотность мощности на поверхности приводит к расплавлению поверхности металлической втулки, выдавливанию расплавленного припоя из зоны пайки и появлению трещин и нарушению геометрии детали. По результатам проведенных экспериментов была определены диапазоны варьирования плотности мощности лазерного излучения на поверхности металлической детали позволяющие получить вакуумноплотное соединение $1.0 \cdot 10^3 - 1.4 \cdot 10^3$ Вт/см²

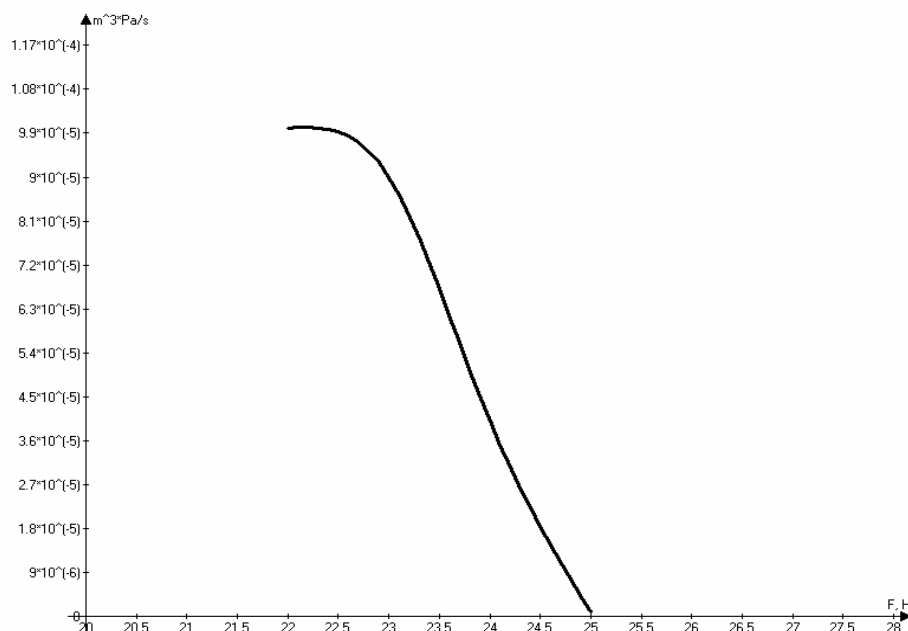


Рис.3. Экспериментальное исследование вакуумной плотности МКС полученного методом лазерной пайки в зависимости от усилия предварительной подпрессовки ($Q=1 \cdot 10^3$ Вт/см², $v=1$ мм/с)

Как видно из графика, прослеживается практически линейная зависимость между степенью натекания гелия и усилием предварительной подпрессовки гермоввода. Недостаточное усилие приводит к тому, что выбираются не все зазоры на конусе и образуются поры. Таким образом, можно утверждать, что при усилнии превышающей 25Н зазоры между деталями способны компенсироваться расплавленным припоем. Верхнее значение усилия подпрессовки ограничивается механической прочностью медного покрытия.

Проведенные эксперименты показали, что плотность мощности лазерного воздействия на материалы при лазерной пайке должна быть в диапазоне $(1 \dots 1.4) \cdot 10^3$ Вт/м² при скорости движения лазерного источника 1...1.5 мм/с.

Тепловой след на поверхности МКУ от движущегося лазерного источника вблизи зоны нагрева соответствует температуре 1800 К [1]. Тепловых изображений нагретого образца при движущемся лазерном источнике ($q \approx 10^3$ Вт/мм²) со скоростью $v = 1 \dots 2$ мм/с слой металла успевает полностью прогреваться до температуры 1733 ± 15 К. Медный припой успевает достичь своей температуры плавления (1383 ± 15 К) и, в силу своей высокой теплопроводности, передать часть энергии керамике.

1. Б.А.Виноградов, Н.С.Костюков, Д.Л.Харичева Герметичные металлокерамические соединения, "Наука", Москва, 2004.
2. В.Н.Батыгин, И.И.Метелкин, А.М.Решетников Вакуумно плотная керамика и ее спаи с металлами., М., "Энергия", 1973.