Образование хрупких слоёв в процессе горячего изостатического прессования биметаллического соединения компонентов ИТЭР

Пискарев П.Ю., Герваш А.А., Огурский А.Ю., Мазуль И.В., Рузанов В.В., Бобров С.В., Хохлов М.В., Лянзберг Д.В.

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры   
им. Д.В. Ефремова, г. Санкт-Петербург, Россия, [piskarev@sintez.niiefa.spb.su](mailto:piskarev@sintez.niiefa.spb.su).

Вакуумно-плотное биметаллическое соединение CuCrZr/316L(N) является одним из важнейших конструктивных элементов обращённых к плазме компонентов (ОПК) международного экспериментального термоядерного реактора (ИТЭР). В АО «НИИЭФА» в качестве технологии изготовления биметаллического соединения выбран метод диффузионной сварки в условиях горячего изостатического прессования (ГИП).

В рамках проведенных опытных работ в АО “НИИЭФА” по отработке технологии изготовления биметаллического соединения [1] достигнуты регламентированные МО ИТЭР параметры. При этом уровень брака, связанный с наличием дефектов в биметаллическом соединении, в отдельных случаях достигал 50%, что неприемлемо. Указанные дефекты представляют собой нарушение целостности соединения (трещина).

В ходе анализа проблемы обнаружена характерная особенность диффузионного соединения рассматриваемых материалов – образование обогащенного цирконием слоя в бронзе вблизи границы соединения. При этом авторам удалось найти только одно упоминание данной проблематики в литературных источниках [2]. Указанный слой является зоной распространения трещины в дефектных изделиях.

Сделано предположение, что цирконий выпадает в отдельные фазы в объёме поверхностного слоя бронзы, претерпевающего значительные пластические деформации под действием давления и температуры диффузионной сварки, и образует устойчивые химические соединения с элементами, диффундирующими из стали.

Проведена серия испытаний на растяжение при повышенной температуре образцов, содержащих биметаллическое соединение. Выявлено, что вероятность разрушения по биметаллическому соединению увеличивается с ростом температуры испытаний.

Анализ литературных источников [3] помог найти одну из возможностей для оптимизации химического состава в зоне соединения - использование промежуточного слоя из никеля.   
Проведена опытная работа по диффузионной сварке с применением двух видов промежуточного никелевого слоя: гальванически осаждённого покрытия и фольги.

По итогам работы можно сделать вывод, что при внесении промежуточного слоя никеля между сопрягаемыми поверхностями бронзы и стали любым из рассмотренных нами способом, не исключаются зоны с повышенной концентрацией циркония, но изменяется их интенсивность и характер их расположения. При применении фольги из никеля наблюдаются отдельные включения фаз циркония не образующие сплошной слой.

Литература

1. Герваш А.А., Глазунов Д.А., Лянзберг Д.В., Мазуль И.В., Огурский А.Ю., Пискарёв П.Ю., Рузанов В.В. Отработка технологии горячего изостатического прессования вакуумно-плотного биметаллического соединения внутрикамерных компонентов ИТЭР// Инновационные проекты и технологии ядерной энергетики: сб. докладов V Международной научно-технической конференции. – М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2018, с. 963 – 970.
2. S.H. Goods, J.D. Puskar. Solid state bonding of CuCrZr to 316L stainless steel for ITER applications // Fusion Engineering and Design, 86 (2011), p. 1634 – 1638.
3. Казаков Н.Ф. Диффузионная сварка материалов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1976, 312 с.