Многослойные обращенные к плазме компоненты ИТЭР: от малых макетов до полномасштабных прототипов ЦСД и ППС [[1]](#footnote-1)\*)

Пискарев П.Ю., Мазуль И.В., Родин И.Ю., Герваш А.А., Маханьков А.Н., Кузнецов В.Е., Гурьева Т.М., Окунев А.А.

АО «НИИЭФА», Санкт-Петербург, Россия, [piskarev@sintez.niiefa.spb.su](mailto:piskarev@sintez.niiefa.spb.su)

Соглашения о поставке, подписанное между международной организацией (МО) ИТЭР и домашним агентством РФ ИТЭР, подразумевает изготовление высоконагруженных панелей первой стенки (ППС) и центральных сборок дивертора (ЦСД). ППС и ЦСД, совместно именуемые компонентами, обращенными к плазме (КОП), являются одними из самых энергонапряженных систем реактора. Для верификации разработанных конструкций и технологий изготовления КОП на пути к старту производства «серийных» компонентов для ИТЭР принят поэтапный процесс в виде: разработки и расчетного обоснования конструкции; опытного изготовления и проведения экспериментов с использованием малых макетов; изготовления и приемочных испытаний квалификационного прототипа. Завершается данный процесс получением разрешения на изготовление «серийных» компонентов ИТЭР.

Подход «design by experiment», заключающийся в отработке конструкторско-технологических решений на малых макетах реальной конструкции КОП, позволил подобрать оптимальные параметры и определить границы их использования для тех элементов конструкции, обоснование которых расчетным путем затруднено или недостаточно достоверно. В основном данный подход использовали для определения оптимального и допустимого размера плиток, из которых состоит защитная облицовка КОП, а также определения ресурса использования защитной облицовки с учетом выбранной технологии и достижимого уровня сплошности соединения, при длительной термоциклической нагрузке и ее максимальных проектных значениях.

Также на малых макетах отработаны методики неразрушающего контроля сварных соединений многослойной металлической композиции КОП, включающие методики ультразвукового, радиационного, капиллярного и визуального контроля. Отработаны методики сдаточных заводских испытаний: гидравлических и вакуумных с контролем герметичности, термоциклических. Проведена квалификация критических технологий изготовления многослойной композиции КОП, а именно: технологий пайки бериллиевой и вольфрамовой облицовки; технологий получения герметичного биметаллического соединения CuCrZr-IG/316L(N)-IG (сварка взрывом и диффузионная сварка горячим изостатическим прессованием). Проведена отработка собираемости, ремонто- и контролепригодности разработанной конструкции КОП, определена достижимая точность параметров изделия с учетом полного цикла изготовления и накопленных деформаций.

Завершением перечисленных работ в АО «НИИЭФА» стало успешное изготовление и прохождение приемочных испытаний прототипа ЦСД, направленного впоследствии в МО ИТЭР для выполнения работ по интеграции компонентов дивертора в единую кассету. Также в настоящий момент на завершающей стадии находятся работы по прототипу ППС.

В рамках проекта ИТЭР на пути к старту производства «серийных» ЦСД и ППС АО «НИИЭФА» получены уникальный опыт и компетенции в области разработки конструкции КОП, созданы и освоены уникальные технологии изготовления, методики контроля и испытаний, созданы производственная и экспериментальная стендовые базы, налажена кооперация с ключевыми участниками производственного процесса. Перечисленные наработки и достижения являются надёжной базой для старта будущих национальных проектов в области разработки и создания КОП для установок управляемого термоядерного синтеза.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/E/en/IA-Piskarev_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)