

DOI: 10.34854/ICPAF.52.2025.1.1.261

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ВОЛЬФРАМА НА ПОЛЕ ТЕМПЕРАТУР ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПАНЕЛИ ПЕРВОЙ СТЕНКИ МОДУЛЯ №7 ТИП А БЛАНКЕТА ИТЭР

²Козлов С.А., ²Томилов С.Н., ²Поддубный И.И., ²Свириденко М.Н., ¹Путрик А.Б.

¹Частное учреждение «ИТЭР-Центр», Москва, Россия

²АО «НИКИЭТ», Москва, Россия

В рамках реализации Соглашения о Поставке теплонапряженных панелей первой стенки (ППС) blankets ИТЭР, специалистами АО «НИКИЭТ» выполнено расчетное исследование конструкции ППС с вольфрамовым покрытием.

За основу для исследования взята конструкция стандартной ППС №7 тип А, расположенная на потолочном своде вакуумной камеры, в которой защитный слой бериллия толщиной 8 мм был заменен вольфрамом и медной подложкой с различными толщинами. Расчетная модель включает в себя часть НКПС, две пары пальцев, систему крепления. Тепловой расчет проводился с использованием расчетного кода ANSYS APDL.

Рассмотрено 4 типа исполнения защитного слоя: бериллиевый тайл толщиной 8мм; вольфрамовый тайл толщиной 25 мм; вольфрамовый тайл толщиной 19 мм и медная подложка толщиной 6 мм; вольфрамовый тайл толщиной 12 мм и медная подложка толщиной 2 мм.

Расход теплоносителя в тракте пары пальцев принят 0,45625 кг/с, а температура теплоносителя на входе 70 °С при давлении 4 МПа. Объемное энерговыделение в элементах конструкции соответствует режиму работы ИТЭР Inductive I. Значения коэффициентов теплоотдачи для различных участков тракта охлаждения рассчитаны с использованием семейства табулированных кривых полученных при помощи выражений, учитывающих конвекцию и кипение с недогревом.

Рассмотрено 4 варианта распределения теплового потока по поверхности ППС обращенной к плазме: равномерный тепловой поток 0,7 МВт/м²; пиковый тепловой поток 4,7 МВт/м²; равномерный тепловой поток 0,7 МВт/м² на пальцах №2 и №3 и пиковый тепловой поток 4,7 МВт/м² на пальцах №1 и №4; равномерный тепловой поток 0,7 МВт/м² на пальцах №1 и №4 и пиковый тепловой поток 4,7 МВт/м² на пальцах №2 и №3.

На первой итерации расчетов для всех типов исполнения защитного слоя был рассмотрен вариант теплового потока, когда на поверхность пальцев приходится пиковый тепловой поток 4,7 МВт/м². Показано, что температуры стальных элементов конструкции бронзового слоя остались на том же уровне, что и с бериллиевым покрытием. Подогрев теплоносителя в пальцах вырос, максимальное значение подогрева теплоносителя в пальце составило 47 °С для 2 типа исполнения, для других типов повышение подогрева составило не более 6 °С.

Для всех типов вольфрамовой облицовки при пиковой нагрузке в тракте охлаждения показано достижение кризиса теплообмена 1-го рода ввиду превышения плотности критического потока. Максимальные температуры вольфрама для 2 и 3 типа исполнений составили 1772 °С и 1468 °С, что превышает температуру рекристаллизации вольфрама 1200 °С, в связи с чем возможна деградация механических свойств, охрупчивание и снижение жаропрочности, а также растрескивание вольфрама. Максимумы температур в вольфрамовом защитном покрытии носят локальный характер.

Полученные результаты показывают, что наиболее оптимальная высота вольфрамового тайла составила 12 мм с высотой медной подложки 2 мм, максимальная температура вольфрама составляет 993 °С, а максимальный подогрев теплоносителя 40 °С.

Работа выполнена в рамках договора №76-21до от 16 июня 2021 г между «ИТЭР-Центр» (Заказчик) и АО «НИКИЭТ» (Исполнитель), государственные контракты с ГК «Росатом» от 14.02.2022 г. № Н.4а.241.19.22.1123.