

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Научный совет РАН по физике конденсированных сред  
Межгосударственный координационный совет  
по физике прочности и пластичности материалов  
Тольяттинский государственный университет  
НИИ прогрессивных технологий

## **ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

X Международная школа, посвященная 10-летию лаборатории  
«Физика прочности и интеллектуальные диагностические системы»

Тольятти, 13–17 сентября 2021 года

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЧНОСТИ**

LXIII Международная конференция, посвященная 70-летию  
Тольяттинского государственного университета

Тольятти, 13–17 сентября 2021 года

Сборник материалов

Тольятти  
Издательство ТГУ  
2021

## ФОРМИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ЭП-823 В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТАКТА С ПРОТОЧНЫМ СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Литовченко И. Ю.<sup>1,2</sup>, Полехина Н. А.<sup>1,2</sup>, Алмаева К. В.<sup>1,2</sup>,  
Аккузин С. А.<sup>1,2</sup>, Линник В. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

<sup>2</sup>Национальный Исследовательский Томский государственный университет,  
Томск, Россия, [litovchenko@spti.tsu.ru](mailto:litovchenko@spti.tsu.ru)

В ядерных реакторах нового поколения планируется использовать в качестве жидкого теплоносителя свинец или его сплавы. При этом для конструкционных материалов, в частности для оболочек тепловыделяющих элементов реактора, возникают проблемы жидкометаллической коррозии. В связи с этим необходимо изучение влияния длительного высокотемпературного воздействия проточного теплоносителя на формирование коррозионных слоев. Перспективными конструкционными материалами активных зон ядерных реакторов нового поколения являются 9-12% Cr ферритно-мартенситные стали.

Методами рентгеноструктурного анализа, просвечивающей и растровой электронной микроскопии, с применением элементного микроанализа и дифракции обратно-рассеянных электронов, изучены особенности микроструктуры и фазового состава поверхностных и приповерхностных слоев российской 12% Cr ферритно-мартенситной стали ЭП-823 (Fe-12Cr-Mo-W-Si-V-W-Nb) после длительной (2500 ч.) выдержки при температурах 540 и 630 °С в проточном свинцовом теплоносителе с концентрацией кислорода  $\approx 4-8 \times 10^{-7}$  масс. %. Кислород способствует формированию защитных пленок на поверхности стали.

При исследовании поперечных сечений образцов показано, что на поверхности и в подповерхностном слое стали формируются неоднородные оксидные слои, представленные магнетитом (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) и железо-хромистой шпинелью FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. В поверхностном слое объемная доля указанных фаз составляет от 7 до 14 %. Она возрастает с увеличением (от 540 до 630 °С) температуры испытаний. Толщина оксидных слоев также зависит от температуры испытаний. При 540 °С она достигает 7-10 мкм, при 630 °С увеличивается до 20-30 мкм. Верхний оксидный слой обогащен по железу, нижний - по хрому и марганцу. Помимо оксидов на поверхности образцов обнаружены также следы свинцового теплоносителя.

При 630 °С в результате длительного высокотемпературного воздействия проточного свинцового теплоносителя помимо поверхностного оксидного слоя обнаружено выделение оксидов по границам зерен бывшего аустенита, ферритных зерен и пакетов отпущенного мартенсита. Глубина проникновения оксидов по границам может достигать 10 мкм, ширина оксидных пленок от  $\approx 300$  нм до  $\approx 1$  мкм. Оксиды представлены дисперсными частицами (размерами до 50 нм) преимущественно на основе хрома (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), кремния и марганца. Таким образом при указанной температуре обнаружены признаки межкристаллитной коррозии в результате длительного высокотемпературного контакта ферритно-мартенситной стали ЭП-823 со свинцовым теплоносителем.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-48-700020 и Администрации Томской области.*