

Радиационная стойкость боридных слоёв

Студенты группы 10405517 Чернявская Е.С., Мышкевич П.С., Белов А.Р.
 Научный руководитель – к.т.н. Дашкевич В.Г.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Актуальным направлением развития современного материаловедения и физики конденсированного состояния является разработка защитных покрытий для различных деталей, узлов и корпусов машин и электроники.

Реальную потребность в наше время представляет создание новых радиационно-стойких материалов для атомной энергетики и космической техники. Химико–термическая обработка поможет синтезировать новые материалы на поверхности изделия, в частности, такую роль может выполнить борирование, как разновидность обработки.

Борирование – это процесс насыщения металлов и сплавов бором. Такую химико–термическую обработку применяют для повышения износостойкости, твердости, а так же повышения коррозионной стойкости железоуглеродистых сталей.

Борированный слой в сталях состоит из двух зон: зоны боридов – химические соединения бора и железа и переходной зоны – твёрдого раствора бора (и других элементов) в железе[1]. Легирующие элементы стали (углерод, хром, молибден, вольфрам, ниобий, титан, ванадий и цирконий) снижают толщину зоны боридов.

Как известно, структурное состояние бора в кристаллических соединениях характеризуются двумя координационными числами (3 и 4) и относительно кислорода. Варьирование концентрации бора в составе оксидов и изменение его координации позволяет в широких пределах управлять их свойствами, что представляет интерес с точки зрения использования бора в качестве перспективного материала в радиационном материаловедении[2].

Благодаря способности изотопа ^{10}B поглощать тепловые нейтроны, бор применяют для изготовления регулирующих стержней ядерных реакторов, служащих для прекращения или замедления реакции деления. Бор в виде газообразного BF_3 используют в счётчиках нейтронов. При взаимодействии ядер ^{10}B с нейтронами образуются заряженные α -частицы, которые легко регистрировать. Число же α -частиц равно числу нейтронов, поступивших в счётчик $^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n} = {}^7_3\text{Li} + {}^4_2\alpha$ [3].

По величине сечения захвата тепловых нейтронов легкий изотоп бора занимает одно из первых мест среди всех элементов и изотопов, а тяжелый – одно из самых последних [3]. Это значит, что материалы на их основе весьма интересны для различных областей ядерной энергетики, в частности, для реакторостроения. Это отмечается необходимыми физико-механическими свойствами бора и многих его соединений: твердостью и термической стойкостью. По твердости, например, кристаллический бор занимает второе место среди всех элементов, уступая лишь углероду в виде алмаза.

Близкими по радиационной стойкости к борированным слоям являются хорошо изученные наноструктурированные покрытия TiCrN , которые описаны в работе [4]. Было установлено, что облучение покрытий $\text{Ti}_x\text{Cr}_{1-x}\text{N}$ в диапазоне составов $0,58 \leq x \leq 0,8$ ионами гелия с энергией 500 кэВ не приводит к структурнофазовым изменениям и разупрочнению до флюенса $2 \cdot 10^{17}$ ион/см², также формирование этих покрытий при $x = 0,68$ является оптимальным и позволяет достигнуть значения микротвердости 27800 МПа. Обнаружено, что облучение в диапазоне флюенсов $5 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{17}$ ион/см² не приводит к фазовой сегрегации твёрдого раствора $(\text{Ti}, \text{Cr})\text{N}$. Таким образом, наноструктурированное покрытие $\text{Ti}_x\text{Cr}_{1-x}\text{N}$ при $0,58 \leq x \leq 0,8$ демонстрирует высокую радиационную стойкость, что делает возможным его применение на оболочках ТВЭЛов ядерных реакторов.

Список использованных источников

1. Ворошнин, Л.Г. Теория и технология химико–термической обработки / Л.Г. Ворошнин, О.Л. Менделеева, В.А. Смёткин. – Москва: Новое знание, 2010. – 304 с.
2. Меликова, С.З. Особенности радиотермолюминесценции гамма–облученных боросиликатов / С.З. Меликова, А.А. Гарибов, Н.Н. Гаджиева, А.И. Наджафов // Институт радиационных проблем НАН Азербайджана. – 2013. – Т. 49, № 4. С. 62–67.
3. Палеха, В.А., Гетьман, А.А. Бор. Свойства и применение в ядерной энергетике = Boron. Properties and application in nuclear energy / В.А. Палеха, А.А. Гетьман // Литье и металлургия. – 2017. – №3 (88). – С. 91–94.
4. Комаров, Ф. Ф. Радиационная стойкость наноструктурированных покрытий TiN, TiAlN, TiAlYN / Ф. Ф. Комаров, С. В. Константинов, В. Е. Стрельницкий // Доклады НАН Беларуси. – 2014. – Т. 58, № 6. – С. 22–27.
5. Akkurt I., Adnan C., Akyildirim H., Mavi B. (2008) The effect of boronizing on the radiation shielding properties of steel. Z. Naturforsch A 63: 445–447.