

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛЕЙ 30, 12X18Н10Т И СПЛАВА ЭП543У-ИД, НАСЫЩЕННЫХ ИЗОТОПАМИ ВОДОРОДА

В. М. Изгородин, А. П. Пепеляев

РФЯЦ – Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики, г. Саров, Россия
anton.pepelyaev@gmail.com

Проведено исследование распределения тяжелого изотопа водорода в приповерхностном слое образцов из сталей 30, 12X18Н10Т и сплава ЭП543У-ИД, предварительно насыщенных изотопами водорода. Измерение содержания трития было выполнено с помощью метода регистрации вторичного излучения, возбуждаемого в образцах при распаде радиоактивного изотопа водорода. Показано, что для стали 12X18Н10Т и сплава ЭП543У-ИД характер распределения трития одинаков - на поверхности его концентрация минимальна, она начинает увеличиваться по мере удаления от поверхности образца и выходит на плато на глубине приблизительно 30 мкм. Для стали 30 картина противоположная - на поверхности концентрация трития имеет максимальное значение, она уменьшается до минимальной постоянной величины на глубине 20 мкм. Во всех случаях характер изменения концентрации трития от расстояния от поверхности образца описывается экспоненциальной функцией.

Введение

При взаимодействии конструкционных материалов (КМ) с тритийсодержащими средами КМ насыщаются тритием. Вследствие этого их механические свойства изменяются. Как правило, эти изменения приводят к охрупчиванию металлов и сплавов, что не может не сказаться на прочности конструкций, изготовленных из этих материалов. Особое внимание этому явлению стоит уделить в том случае, если речь идет о термоядерных реакторах и т. п., поскольку вопросы радиационной безопасности весьма актуальны при создании современных энергетических установок такого типа.

В статье рассматривается вопрос распределения трития в приповерхностном слое образцов из сталей 30, 12X18Н10Т и сплава ЭП543У-ИД, предварительно насыщенных тритием, так как интересным представляется изучить ха-

рактир изменения концентрации трития в материале, контактирующем с тритийсодержащей средой.

Эксперимент

Исследования проводились на цилиндрических образцах длиной 10 мм, диаметром 4 мм из сталей 30, 12Х18Н10Т и сплава ЭП543У-ИД, которые предполагается использовать в качестве КМ для основных узлов комплекса по изготовлению лазерных термоядерных мишеней (в том числе наполнению мишеней дейтерий-тритиевой смесью).

Насыщение образцов проводилось при температуре 250 °С в течение 5 суток в камере, заполненной смесью D-T (0,5 : 0,5) до давления 40 атм.

Каждый образец после насыщения тритием пошагово протравливался в смеси соляной и азотной кислот (в соотношении 3 к 1). Толщина удаленного слоя определялась взвешиванием на весах ВЛР-20 с точностью до $5 \cdot 10^{-5}$ г с последующим расчетом при известной плотности материала. Средняя толщина удаленного слоя составила примерно 3 мкм. Общая глубина травления - от 30 до 140 мкм. После каждого шага травления Si(Li) детектором регистрировалась скорость счета рентгеновских квантов возникших у поверхности образца в результате распада трития, содержащегося в нем, с образованием бета-электронов. Среднее время проведение одного измерения – 10 мин.

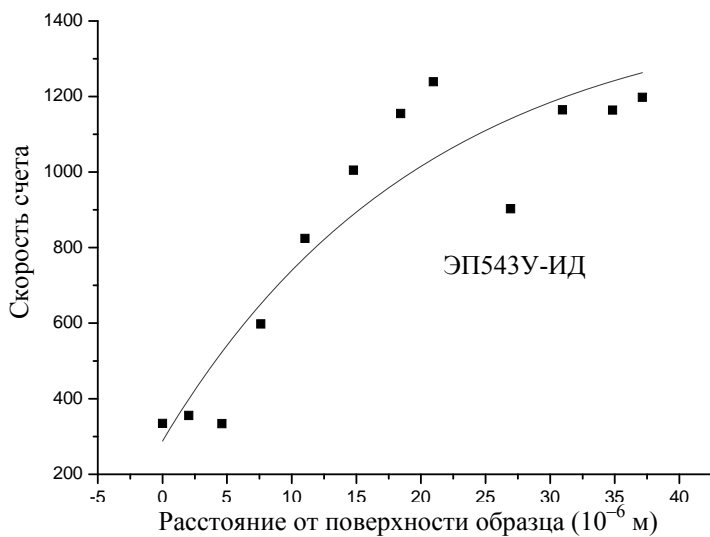
Результаты и их обсуждение

На рис. 1, 2 приводятся полученные результаты по регистрации скорости счета исследуемых образцов.

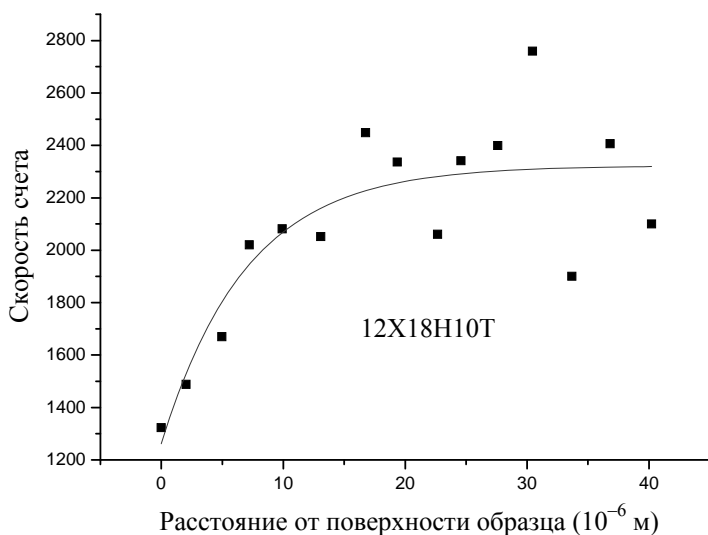
Для стали 12Х18Н10Т и сплава ЭП543У-ИД картина изменения скорости счета схожа – на поверхности образца скорость минимальна, она начинает увеличиваться по мере удаления от поверхности образца и достигает плато приблизительно на глубине 20–25 мкм. Характер распределения трития в стали 12Х18Н10Т сходен с характером распределения ^3He , обнаруженном в тритированном цилиндрическом образце из такой же стали [2]. Равномерное распределение ^3He в центральной части образца резко уменьшается до нуля вблизи поверхности.

Для стали 3 картина совсем другая – на поверхности образца скорость счета максимальна, она уменьшается до минимальной постоянной величины по экспоненте. Такой характер изменения скорости счета можно объяснить особенностями поверхности образца из стали 30. Поскольку этот материал подвержен коррозии и после насыщения тритием поверхность образца в дальнейшем (при первом шаге измерения скорости счета) не подвергалась ни механической, ни химической обработке, то на поверхности образца образовалось соединение

из окислов железа и изотопов водорода, содержащих больше трития, чем «чистый» тритированный металл. Этот же слой препятствует десорбции трития из образца.



а



б

Рис. 1. Изменение скорости счёта рентгеновских квантов у поверхности образцов в зависимости от расстояния от поверхности образца: а – сплав ЭП543У-ИД; б – сталь 12Х18Н10Т

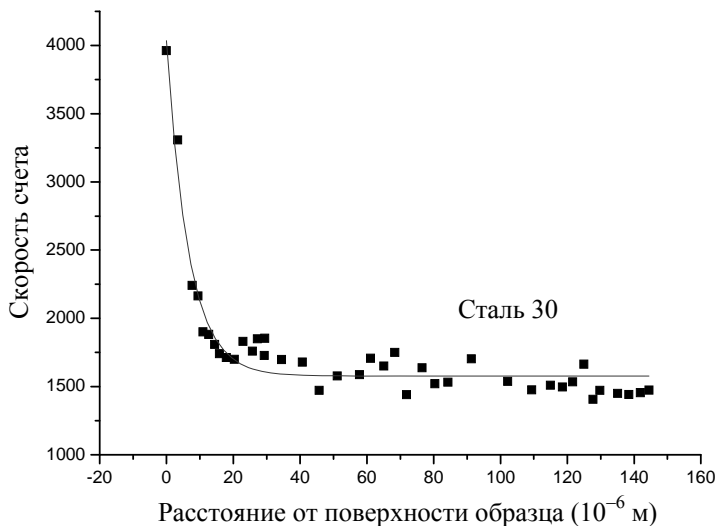


Рис. 2. Изменение скорости счета рентгеновских квантов у поверхности образца из стали 30 в зависимости от расстояния от поверхности образца

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что тритий в приповерхностном слое образцов из стали 12X18Н10Т и сплава ЭП543У-ИД распределяется равномерно и лишь около поверхности его концентрация резко уменьшается практически до нуля. Такой характер распределения трития, видимо, обусловлен более активными процессами диффузии трития на границе двух сред.

Распределение трития в образце из стали 30 иное, чем в образцах из стали 12X18Н10Т и сплава ЭП543У-ИД. Концентрация трития в стали 30 максимальна на самой поверхности и резко уменьшается по мере удаления от поверхности образца, оставаясь постоянной до глубины 150 мкм от поверхности образца. Причиной такого эффекта является способность этой стали окисляться на воздухе и вступать в реакции с образованием соединений, содержащих изотопы водорода. Оксидная пленка, образовавшаяся после насыщения образца тритием, препятствует его свободному выходу при нормальных условиях.

Список литературы

1. Masao Matsuyama, Tadayuki Murai, Kuniaki Watanabe. Quantitative measurement of surface tritium by β -ray-induced x -ray spectrometry. Fusion science and technology. May, 2002. Vol. 41. P. 505.
2. Малков И. Л., Юхимчук А. А., Златоустовский С. В. Расчетно-экспериментальное исследование процесса насыщения ^3He металлов // Сб. докладов 2 меж-

дународного семинара «Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами», IHISM-04. 2005. С. 111–118.

RESEARCH OF TRITIUM DISTRIBUTION IN NEARSURFACE LAYER OF STEEL 30, 12X18H10T AND EP543U-ID SAMPLES SATURATED WITH HYDROGEN ISOTOPES

V. M. Izgorodin, A. P. Pepelyaev

RFNC-All-Russian Research Institute of Experimental Physics, Sarov
anton.pepelyaev@gmail.com

Research of heavy hydrogen isotope distribution in nearsurface layer of steel 30, 12X18H10T and alloy EP543U-ID samples saturated with hydrogen isotopes are is carried out. Tritium concentration was measured with the help of secondary tritium decay radiation registration. Tritium is distributed similarly in steel 30, 12X18H10T and alloy EP543U-ID. Tritium concentration is minimal near the surface and is increasing depthward. Situation in steel 30 is opposite. It is maximal at the surface and is decreasing depthward. Tritium distribution can be approximated with exponential function in all cases.