

УДК 546.62: 539.56:621.785.6

И. И. Ташлыкова-Бушкевич

**О КИНЕТИКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДОРОДА С ДЕФЕКТАМИ  
В БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВАХ АЛЮМИНИЯ**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
ул. П. Бровки, 6, 220013 Минск, Беларусь  
iya.itb@gmail.com*

Внедрение технологий синтеза и промышленного использования чистого водорода в качестве альтернативного источника энергии требует разработки безопасных и эффективных систем накопления, хранения и распределения водорода. Поэтому разработка элементов арматуры водородных линий нацелена на решение проблемы отрицательного влияния водорода на механические свойства материалов из высокопрочных сплавов алюминия, применяемых в водородных сетях. В настоящее время при изготовлении элементов арматуры баллонов для хранения и транспортировки сжатого водородного топлива в качестве перспективных материалов рассматриваются алюминиевые сплавы, которые характеризуются уникальной комбинацией таких свойств, как малая плотность, высокая прочность, хорошая коррозионная стойкость и пластичность [1, 2]. Известно, что современные методы модификации и синтеза материалов высокоскоростным затвердеванием расплавов (ВЗР) позволяют получать метастабильные алюминиевые материалы в особом структурном состоянии по сравнению с традиционными металлургическими процессами. Быстрозатвердевшие (БЗ) сплавы алюминия характеризуются дисперсной микроструктурой и пересыщены субмикронными дефектами [3, 4]. Поэтому вопросы взаимодействия водорода с элементами микроструктуры алюминиевых сплавов, полученных в локально-неравновесных условиях при сверхвысоких скоростях охлаждения расплава, представляют как фундаментальный, так и практический интерес в связи с особой актуальностью проблемы водородного охрупчивания высокопрочных алюминиевых материалов в энергетических технологиях.

В наших исследованиях кинетики выделения водорода из БЗ фольг алюминия и его сплавов впервые обнаружено новое качество взаимодействия водорода с материалом фольг. А именно, применение современного метода ВЗР качественно изменяет механизм захвата водорода неравновесными дефектами в фольгах алюминиевых материалов в сравнении с традиционно полученными образцами [5], что, по нашему мнению, позволит управлять (замедлять) скоростью пропускания водорода через материалы сплавов. В данном докладе представлен обзор экспериментально установленных наноразмерных особенностей пространственного распределения легирующих элементов и водорода в алюминии после ВЗР (скорость охлаждения  $\sim 10^6$  °C/c), обсуждение которых объясняет экспериментально установленные закономерности поведения водорода в БЗ алюминиевых сплавах. Независимые современные методы исследования использованы для характеристики кинетики десорбции водорода из сплавов, а также анализа структуры образцов на микро- и наноуровне. Морфология поверхности образцов изучалась с применением растровой электронной микроскопии и сканирующей зондовой микроскопии. Для прямого и неинвазивного исследования микроструктуры наноразмерных слоев поверхности фольг, включая профилирование по глубине распределения легирующих элементов и

водорода, использовались методы ядерно-физического анализа (методы Резерфордского обратного рассеяния и спектроскопии ядер отдачи), а также метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии с применением синхротронного излучения. Методом термодесорбционной спектроскопии был выполнен анализ элементов микроструктуры и типов дефектов, которые являются местами захвата водорода в сплавах. Показано, что определенное неоднородное пространственное распределение легирующих элементов в фольгах позволяет объяснить установленные, ранее неизвестные, закономерности поведения водорода в БЗ алюминии при его легировании. Полученные результаты являются оригинальными и новыми в области физики конденсированного состояния и развивают инновационное научное направление – модифицирование структуры и свойств сплавов алюминия сверхбыстрой кристаллизацией из расплава для применения в водородном материаловедении.

Работа частично поддержана Международным центром теоретической физики им. А. Салама (проект № 20120120, Италия), Международным фондом Матсумае (грант № 08G11, Япония) и БРФФИ.

- [1] Scully J. R. Hydrogen embrittlement of aluminum and aluminum-based alloys / J. R. Scully, G. A. Young, S. W. Smith // *Gaseous hydrogen embrittlement of materials in energy technologies* / eds. R. P. Gangloff and B. P. Somerday. – Cambridge: Woodhead Publishing Ltd., 2012. – Vol. 1. – С. 707.
- [2] Yamabe J. Surface coating with a high resistance to hydrogen entry under high-pressure hydrogen-gas environment / J. Yamabe, S. Matsuoka, Y. Murakami // *Int. J. Hydrogen Energy*. – 2013. – Vol. 38. – P. 114138 (2013) 1141.
- [3] Asta M. Overview No. 146. Solidification microstructures and solid-state parallels: Recent developments, future directions / M. Asta, C. Beckermann, A. Karma, W. Kurz, R. Napolitano, M. Plapp, G. Purdy, M. Rappaz, R. Trivedi // *Acta Mater.* – 2009. – Vol. 57. – P. 941.
- [4] Boettinger W. J. Solidification / W. J. Boettinger, Dilip K. Banerjee // *Physical Metallurgy* / eds. D.E. Laughlin and K. Hono, 5th Edition. – Amsterdam: Elsevier, 2014. - Vol. 1. – P. 639.
- [5] Tashlykova-Bushkevich I. The role of Cr in H desorption kinetics in rapidly solidified Al / I. Tashlykova-Bushkevich, K. Horikawa, G. Itoh // *Mater. Sci. Forum* – 2014. – Vol. 783-786. – P. 264.