

УДК 538.955

**Влияние постоянного и переменного магнитных полей на процесс выделения водорода
из циркония и титана**

Ма Ли

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. В.С. Сыпченко
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ml02@tpu.ru

**Influence of constant and alternating magnetic fields on the process of hydrogen extraction
from zirconium and titanium**

Ma Li

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. V.S. Sypchenko
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: ml02@tpu.ru

Abstract. *This study investigates the effects of constant and alternating magnetic fields (0.946–3.784 mT) on hydrogen desorption in zirconium alloys and pure titanium. Constant fields significantly reduce desorption temperatures and activation energy in zirconium, while alternating fields minimally effects on desorption temperatures, but it reducing the value of the energy barrier in titanium. The obtained research results demonstrate the advantages of magnetic fields in the study of control of hydrogen desorption, aiding in mitigating hydrogen embrittlement and optimizing hydrogen storage in metal hydride systems.*
Key words: *hydrogen, magnetic field, titanium, zirconium*

Введение

Взаимодействие водорода с металлами, такими как цирконий и титан, вызывает значительный научный и практический интерес благодаря их использованию в ядерной энергетике, аэрокосмической отрасли и водородной энергетике. Однако накопление водорода в этих материалах может вызывать охрупчивание, что ухудшает их эксплуатационные свойства. Исследование процессов выделения водорода из циркония и титана под влиянием внешних факторов, включая магнитные поля, представляет собой важную научную задачу. Постоянные и переменные магнитные поля способны воздействовать на кинетику десорбции, изменяя энергетические барьеры и активируя дополнительные механизмы высвобождения водорода. Полученные результаты могут быть применены для разработки подходов к управлению водородной хрупкостью и оптимизации условий хранения водорода в металлгидридных системах.

Объекты исследования

Для исследования использовались образцы из чистого титана (Вt1-0) и циркониевого сплава (Э110). Титановые образцы представляли собой плоскопараллельные пластины размером $22,4 \times 5 \times 0,16$ мм³ с площадью поверхности 112 мм², а циркониевые образцы имели размеры $11,2 \times 97,2 \times 0,11$ мм³ и площадь поверхности 2201,13 мм². Поверхность всех образцов была предварительно обработана методом механической шлифовки и полировки.

Экспериментальная часть

Насыщение образцов водородом проводилось методом Сиверта при температуре 350 °С. Для титана и циркония продолжительность насыщения составила 2 часа. Концентрация поглощенного водорода в обоих материалах достигла 0,012 масс. %. Исследование десорбции водорода выполнялось методом термодесорбционной спектроскопии, а именно методом термостимулированного газовыделения (ТСГВ) [1].

Для создания однородного магнитного поля в эксперименте использовались катушки Гельмгольца в качестве источника магнитного поля.

Результаты

Экспериментальные данные свидетельствуют о существенном влиянии магнитных полей на процесс десорбции водорода из циркониевых и титановых сплавов. При отсутствии магнитного поля в циркониевом сплаве начало десорбции водорода наблюдается при 550 °С, с двумя пиками, расположенными приблизительно при 648 °С и 697 °С разница $\Delta T = 49$ °С (рис. 1 и 2). Для чистого титана десорбция водорода начинается при 407 °С, с пиками при 513 ± 4 °С и 694 ± 8 °С (рис. 2).

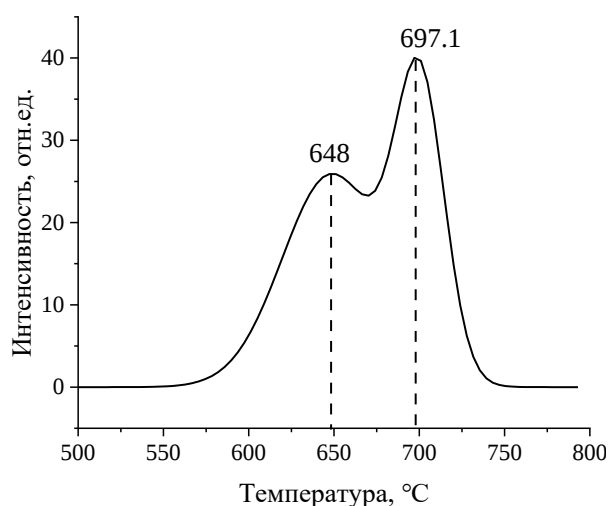


Рис. 1. Интенсивность десорбции H₂ из сплавов циркония без магнитного поля

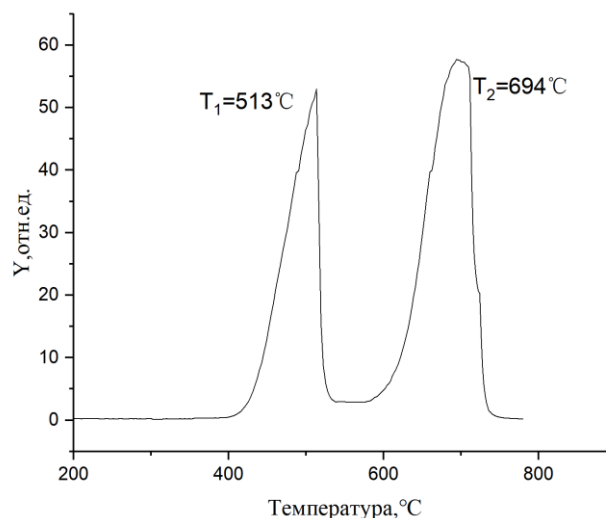


Рис. 2. Интенсивность десорбции H₂ из титана без магнитного поля

При воздействии постоянного магнитного поля 0,946–3,784 мТл на циркониевый сплав наблюдается значительное снижение температур пиков десорбции до диапазонов 472–482 °С и 504–537 °С, что на 160–192 °С ниже, чем в отсутствие поля. Это сопровождается уменьшением энергии активации на 0,137–0,164 эВ, что свидетельствует об облегчении процесса десорбции. С увеличением индукции постоянного поля разница между температурами пиков сокращается 9,8 °С при $B = 3,784$ мТл и 31,6 °С при $B = 0,946$ мТл, что подтверждает более выраженное влияние сильных полей на процесс десорбции. В случае переменного магнитного поля 0.946–3.784 мТл температуры пиков десорбции в циркониевом сплаве остаются близкими к значениям, наблюдаемым без поля 646 ± 4 °С и 696 ± 6 °С, что указывает на менее значительное влияние переменных полей на процесс (рис. 3 и 4).

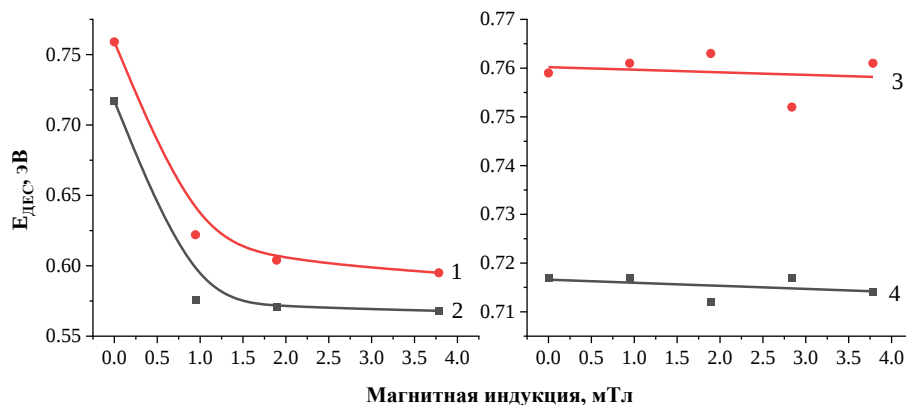


Рис. 3. Зависимость между индукцией магнитного поля и температурой в условиях постоянного и переменного магнитного поля: 1, 2 – постоянное магнитное поле; 3, 4 – переменное магнитное поле

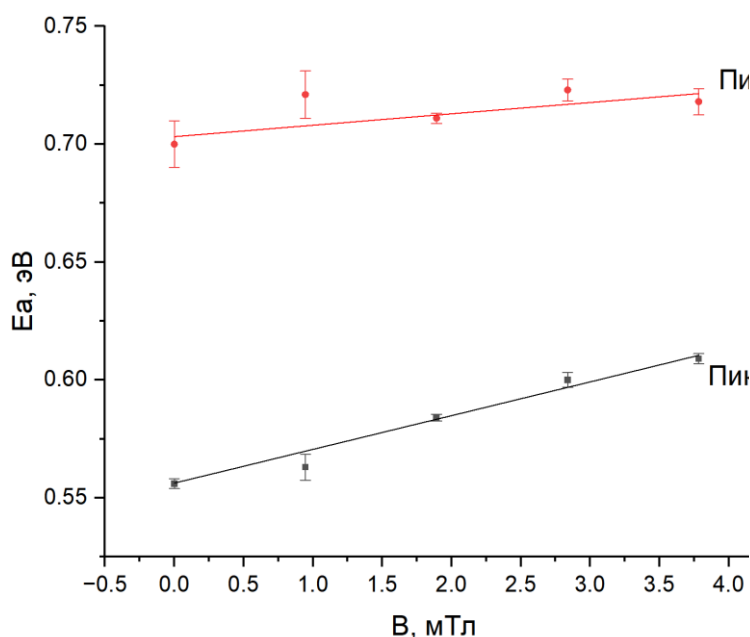


Рис. 4. Зависимость энергии активации десорбированного водорода от магнитной индукции для титана в условиях постоянного магнитного поля индукции

Для титана, однако, отмечается смещение низкотемпературного пика в сторону более высоких температур с ростом индукции магнитного поля, тогда как высокотемпературный пик остается практически неизменным $713,25 \pm 10,57$ °С. Кроме того, с увеличением индукции переменного поля наблюдается снижение энергетического барьера между пиками с $\Delta E_a = 0.137$ эВ при $B = 0$ мТл до $\Delta E_a = 0.109$ эВ при $B = 3.784$ мТл, что свидетельствует о влиянии магнитных полей на кинетику процесса десорбции.

Заключение

Таким образом, постоянное магнитное поле оказывает более значительное влияние на процесс десорбции водорода, снижая температуры пиков и энергию активации, особенно в циркониевых сплавах. Переменное магнитное поле, напротив, демонстрирует меньший эффект, сохраняя температуры десорбции близкими к исходным значениям, но способствует уменьшению энергетического барьера в титане. Полученные результаты подчеркивают важность выбора типа магнитного поля для управления процессом десорбции водорода в металлических материалах.

Список литературы

1. Никитенков Н.Н. и др. Термо стимулированная десорбция из образцов, насыщенных из водородной плазмы и электролитически // Взаимодействие ионов с поверхностью: труды 19 Международной конференции. – Звенигород, 2009. – Т. 1. – С. 152–154.