

УДК 669.296:539.16.04:539.382

**ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Zr-2.5Nb**

М.А. Кругляков

Научный руководитель: к.т.н. Е.Н. Степанова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: Kruglyakov97@tpu.ru

**INFLUENCE OF HYDROGEN ON THE STRUCTURAL AND PHASE STATE AND MECHANICAL
PROPERTIES OF ZIRCONIUM Zr-2.5Nb ALLOY**

M.A. Kruglyakov

Scientific Supervisor: Ph.D., E.N. Stepanova

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

Email: Kruglyakov97@tpu.ru

Abstract. Hydride-forming alloys of the Zr-Nb-H system are analyzed. In the initial state in the Zr-2.5Nb alloy, particles of the Nb β phase are observed in the bulk and at the grain boundaries. In addition to the main Zr α phase, the Nb β phase appears in the Zr-2.5Nb-0.19H alloy and precipitations of ZrH and ZrH₂ hydrides are also observed. The microhardness of the Zr-2.5Nb alloy samples is (130 $\pm$ 7) HV, and after hydrogenation this value rises by 1.3 times, up to (166 $\pm$ 7) HV. The value of the yield strength for both samples is comparable within the error values. The value of the tensile strength for the hydrogenated sample is 4.3% higher than for the original sample. For a sample with 0.19 wt. % hydrogen, value of deformation to failure is 2.1% less compared to the original sample not containing hydrogen.

Введение. Изучению взаимодействия водорода с металлами посвящено большое количество исследований как материаловедческого, так и фундаментального плана [1]. Основными проблемами конструкционных и функциональных материалов является механизм проникновения водорода в металл и изменение его свойств под действием водорода. Цирконий и его сплавы находят широкое применение во многих отраслях промышленности благодаря своей коррозионной стойкости и механической прочности в широком температурном диапазоне [2]. В данной работе исследовано влияние водорода на структурно-фазовое состояние и механические свойства гидридообразующих сплавов системы Zr-Nb-H.

Материал и методы исследования. В качестве исследуемого материала использовались образцы циркониевого сплава Zr-2.5Nb, вырезанные из продольного сечения заготовки в виде стержня диаметром 2 см и высотой 3 см. Подготовка образца к исследованиям производилась путем шлифования при использовании наждачной бумаги с различным размером зерна. Наводороживание до концентрации 0.19 масс. % производилось при использовании оборудования типа Сиверст (далее сплав Zr-2.5Nb-0.19H). Микроструктуру сплава анализировали с помощью растрового электронного микроскопа Philips SEM 515. Рентгеноструктурный анализ (РСА) был произведен с помощью дифрактометра Shimadzu XRD 7000. Испытания на растяжение производилось на растяжной машине ПВ-2013М при комнатной

температуре с начальной скоростью $6,9 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Микротвердость была измерена с помощью микротвердомера КВ 30 S с нагрузкой 0,5 кг при выдержке 30 с.

Результаты и их обсуждение. По результатам сканирующей электронной микроскопии было установлено, что в исходном состоянии в сплаве Zr-2.5Nb частицы фазы Nb β наблюдаются в объеме и на границах зерен. Объемная доля частиц, определенная методом стандартных сеток в оптических изображениях структуры сплава, составляет 3-4 %. В то же время, по данным рентгенофазового анализа, в исходном состоянии сплав содержит только фазу Zr α , что обусловлено малой объемной долей вторичной фазы.

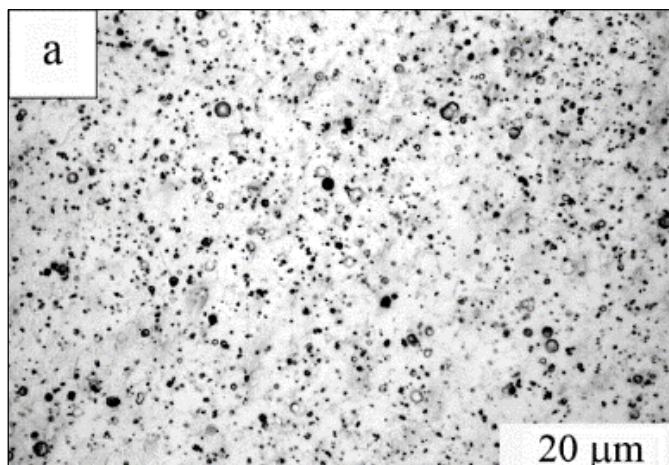


Рис. 1 Исходная структура образца циркониевого сплава Zr-2.5Nb

По результатам РСА определено, что насыщение водородом сплава до концентрации водорода 0,19 масс. % не приводит к заметным структурным изменениям. Однако, по данным рентгенофазового анализа, в результате наводороживания изменяется фазовый состав сплава. Помимо основной фазы Zr α в сплаве Zr-2.5Nb-0.19H появляется фаза Nb β , также наблюдаются выделения гидридов ZrH и ZrH $_2$.

Измерения микротвердости показали, что наводороживание приводит к значительным изменениям микротвердости. В исходном состоянии микротвердость образцов сплава Zr-2.5Nb составляет (130 ± 7) HV, а после наводороживания эта величина возрастает в 1.3 раза, до (166 ± 7) HV.

По результатам испытаний на одноосное растяжение при комнатной температуре были получены кривые «напряжение – деформация» для образцов из исследуемого циркониевого сплава.

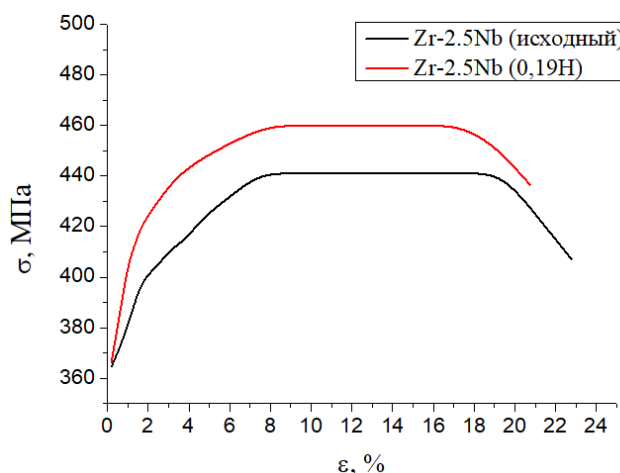


Рис. 2. Кривые деформация-разрушение сплавов Zr-2.5Nb и Zr-2.5Nb-0.19H при комнатной температуре

Аналізуючи залежності рис 2 стоїть відзначити, що для сплавів як до, так і після гідридування в загальному випадку характерно наявність трьох стадій деформації. Крім того, можна зробити висновки про те, що стадія упрочнення для наводороженого зразка має більш плавне протікання, а також більшу тривалість порівняно з початковим зразком. Однак стадія установившоїся деформації у початкового зразка має більшу протяжність. Стадія розупрочнення у обох зразках має схожу форму протікання.

Крім того, випробування на одноосне розтягнення при кімнатній температурі показали, що межа текучості, межа міцності і величина деформації до руйнування зразка цирконієвого сплаву Zr-2.5Nb становлять 364 МПа, 411 МПа і 22.8 %, відповідно. Для зразка Zr-2.5Nb-0.19H межа текучості, межа міцності і величина деформації до руйнування склали 366 МПа, 460 МПа і 20.7 %, відповідно. На основі порівняльного аналізу отриманих кривих можна зробити висновок, що величина межі текучості для обох зразків має сопоставимі в межах похибки значення, в той час як значення межі міцності для наводороженого зразка на 4.3 % більше, ніж для початкового. В той же час у зразка з 0.19 мас. % водороду величина деформації до руйнування на 2.1% менше порівняно з не містять водород початковим зразком.

Висновки. В даній роботі досліджено вплив водороду на структурно-фазовий стан і механічні властивості гідрیدоутворюючих сплавів системи Zr-Nb-H. В початковому стані в сплав Zr-2,5Nb частини фази Nb_β спостерігаються в об'ємі і на границях зерен. Об'ємна частка частинок вторинних фаз становить 3–4 %. За даними рентгенофазового аналізу в результаті наводорожування фазовий склад сплаву змінюється. Крім основної фази Zr_α в сплав Zr-2,5Nb-0,19H з'являється фаза Nb_β, також спостерігаються виділення гідридів ZrH і ZrH₂. Вимірювання мікротвердості показали, що наводорожування призводить до значущих змін мікротвердості. В початковому стані мікротвердість зразків сплаву Zr-2.5Nb становить (130±7) HV, а після наводорожування ця величина зростає в 1.3 рази, до (166±7) HV. Випробування на одноосне розтягнення показали, що значення величини межі текучості для обох зразків має сопоставимі в межах похибки значення, в той час як значення межі міцності для наводороженого зразка на 4,3 % більше, ніж для початкового зразка. В той же час у зразка з 0.19 мас. % водороду величина деформації до руйнування на 2.1% менше порівняно з не містять водород початковим зразком.

Робота виконана при фінансовій підтримці Державного завдання в межах наукового проекту № FSWW-2021-0017.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Скрипчук, Г.А. Взаємодія металів з водородом – Текст: безпосередній // Молодий учений. – 2009. – № 3 (3). – С. 26-29.
2. Mishin I.P., Grabovetskaya G.P., Stepanova E.N., Laptev R.S., Teresov A.D., Hydrogen effect on the defect structure formation in the Zr-1 wt.% Nb alloy under pulsed electron beam irradiation // Rus. Phys. J – 2019. – Vol. 62. – №. 5. – P. 854-860