

Гольцова М.В.

Белорусский национальный технический университет

Любые энергетические проекты предусматривают в том или ином виде использование термодинамически открытых систем Ме-Н, поэтому изучение взаимодействия водорода и его изотопов с металлами не теряет своей актуальности. При этом системы Ме-Н - уникальные физические объекты, которые состоят из двух атомных подсистем: водородной и металлической, различающихся по диффузионной подвижности больше чем в  $10^{20}$ - $10^{30}$  раз, что выделяет их в особый ряд по сравнению с другими системами внедрения и обуславливает многие особенности и необычные физические явления.

Большинство систем Ме-Н обладают сложными диаграммами состояния, что затрудняет их экспериментальные исследования. Система Pd-Н стоит особняком в ряду систем Ме-Н не только из-за уникальной способности палладия пропускать водород, но и благодаря относительной простоте ее диаграммы состояния, что дает возможность использовать палладий в качестве модельного материала для исследований основных закономерностей взаимодействия водорода с металлами.

Поскольку внедренный атом водорода расширяет кристаллическую решетку металла, в кристаллической решетке возникает упругое (деформационное) дальнедействующее взаимодействие атомов водорода. При возникновении в металле градиентов концентраций водорода возникают и градиенты расширения кристаллической решетки, что в итоге приводит к появлению внутренних напряжений, индуцированных водородом. Такие напряжения принято называть водородными концентрационными (ВК) напряжениями. В случае, когда ВК-напряжения не превышают предела текучести металла, говорят о явлении водородоупругости. Оно проявляется на практике «внешне» совершенно различными экспериментальными эффектами. В одних случаях на первый план выступают диффузионные аспекты явления водородоупругости, обусловленные развитием восходящей диффузии водорода: замедление гидридных фазовых превращений, возможность достижения термо-бароупруго-диффузионного равновесия превращающихся фаз, эффект Льюиса и др. В других на первый план выступают механические проявления водородоупругости: обратимое и необратимое формоизменение (коробление) металлических изделий.

Для изучения механических проявлений водородоупругости при одноосном насыщении палладия водородом использовали палладиевую пластину размерами (68x5,5x0,27 мм), предварительно отожженную при 700°C в тече-

ние 60 минут и затем охлажденную с печью. Одну сторону отожженного образца электролитически покрывали медью. Для исследований использовали экспериментальную водородо-вакуумную установку ВВУ-4, которая позволяет изучать формоизменение консолюно закрепленной палладиевой пластины при температурах до 360°C и при давлениях водорода от 0,01 МПа до 2,5 МПа. Важно, что эксперименты всегда осуществляли в изотермических условиях и вели регистрацию изменения стрелы прогиба образца через кварцевое окно с помощью катетометра с одновременной видеозаписью процесса формоизменения образца в реальном времени. Методика подготовки образцов, экспериментальная установка ВВУ-4 и методика проведения экспериментов достаточно подробно описаны в обзорной работе по систематическим исследованиям формоизменения палладиевой пластины [1].

Полученные в экспериментах видеозаписи анализировали в специализированных программах для обработки видеозаписей кадр за кадром. Ошибка измерения времени составляла  $\pm 0,04$  с. Ошибка измерения положения свободного конца пластины составляла  $\pm 0,03$  мм. Таким образом, было изучено коробление палладиевой пластины её одностороннем насыщении водородом при 240°C и различных давлениях водорода от 0,03 до 0,43 МПа. Было установлено, что при водородном воздействии вначале пластина весьма быстро (9-20 с) достигает максимального изгиба, а затем – (более 120 с) пластина распрямляется практически полностью обратимо.

Исследования показали, что, при одностороннем наводороживании, палладиевая пластина демонстрирует полностью обратимые изгибы, по значениям стрелы прогиба значительно, в три раза, превосходящие упругие изгибы при обычном механическом нагружении пластины.

В докладе обсуждены возможные причины этого явления. Автор полагает, что основная причина заключается в том, что механизм изгиба палладиевой пластины при водородном нагружении принципиально отличен от такового при механическом нагружении: оно всегда реализуется через образование и развитие временного градиентного материала металл-водород, что и обеспечивает упругий прогиб пластины, гораздо более сильный, нежели при обычном механическом нагружении.

### **Литература**

Гольцова М.В., Любименко Е.Н. Экспериментальные особенности и феноменологическая модель формоизменения палладиевой пластины при её одностороннем насыщении водородом. // Альтернативная энергетика и экология, 2014, №1 (141), с.152-166.