

03;05;07

©1994

ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ ИСПЫТАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ МЕТАЛЛОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Г.М.Михеев, Т.Н.Могилева

Взаимодействие сфокусированного импульсного лазерного излучения с поверхностью металла в условиях глубокого вакуума приводит к выделению водорода. Этот эффект может быть зарегистрирован масс-спектроскопическим методом [1]. Атомы водорода, вылетающие из металла при лазерном оплавлении и испарении вещества, имеют большую энергию возбуждения. Следовательно, они способны вступать с молекулами окружающей среды в химические реакции, протекающие только при больших энергиях активации. Таким образом, при взаимодействии мощного лазерного излучения с металлами в газообразной среде возможно протекание химических реакций, подобных окислению азота в атмосфере Земли ($N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$) при высокотемпературных процессах [2]. Это явление интересно как один из видов химических реакций, инициируемых лазерным импульсом [3-6]. Возможные химические реакции приводят к уменьшению общего количества молекулярного водорода, появляющегося в камере испытания. Указанная сторона вопроса представляет интерес с точки зрения разработки методики экспресс-анализа водорода в металлах и сплавах. Цель данной работы состоит в исследовании влияния атмосферы газообразной среды на общее количество молекулярного водорода, образующегося в камере испытания в результате импульсного лазерного воздействия на металл.

В эксперименте исследуемые образцы помещались в оптическую рабочую камеру, имеющую объем 7.7 см^3 . После предварительной откачки воздуха до давления 20 Па камера закрывалась. Далее в рабочей камере создавалась атмосфера того или иного газа до некоторого давления. После этого на поверхность исследуемого образца производилась серия из N вспышек сфокусированным излучением испарительного лазера. При этом каждая вспышка лазера производилась на новый участок поверхности металла. Диаметр кратера на поверхности образца составлял 0.5 мм. Параметры испарительного лазера были следующие: длина волны — 1064 нм, длительность импульса — 4 мс, энергия в им-

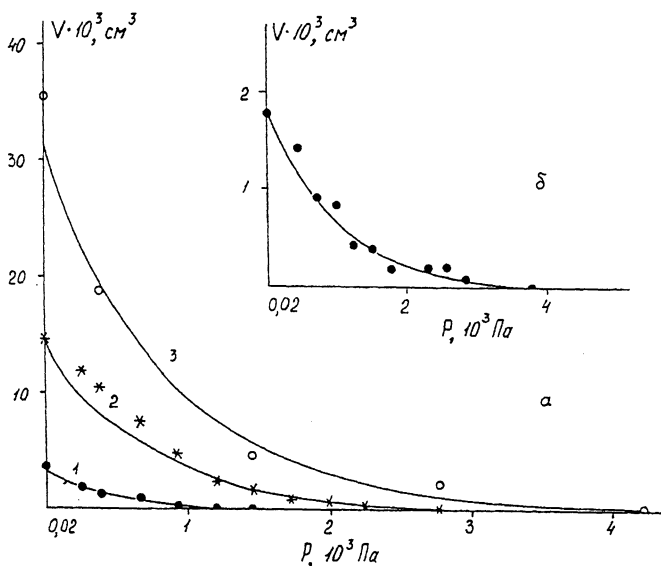


Рис. 1. Зависимость $V(P)$ в воздухе для алюминиевого сплава 1420 (а: 1 — $N = 1$, 2 — $N = 3$, 3 — $N = 6$) и для стали 30ХГСА (б: $N = 1$).

пульсе — 6 Дж. Газовая смесь в камере после воздействия N импульсов испарительного лазера зондировалась резонансной бигармонической лазерной накачкой ($\lambda_l = 532 \text{ нм}$, $\lambda_s = 683 \text{ нм}$), настроенной на частоту колебательного перехода $Q_{01}(1)$ молекулярного водорода. При этом регистрировалась интенсивность антистоксовой компоненты вынужденного комбинационного рассеяния света λ_l на переходе $Q_{01}(1)$ ($\lambda_a = 436 \text{ нм}$) [7]. В конечном итоге определялся объем молекулярного водорода V в рабочей камере, приведенный к нормальным условиям по методике [8]. Опыты проводились на алюминиевых сплавах с литием 1420, а также на стали 30ХГСА в атмосфере воздуха, кислорода, двуокси углерода, аргона при давлениях выше 20 Па.

Эксперименты показали, что объем молекулярного водорода V , образовавшийся в рабочей камере после воздействия лазерного излучения, существенно зависит от давления P воздуха в ней как для алюминиевого сплава 1420, так и для стали 30ХГСА (см. рис. 1). При $P \approx 20 \text{ Па}$ V принимает максимальное значение и составляет около $3.4 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3$ (сплав 1420, $N = 1$). С увеличением давления воздуха количество H_2 в рабочей камере экспоненциально уменьшается. Различие значений V ($N = 1$, $P \approx 20 \text{ Па}$) для стали и сплава 1420 связано с различным содержанием в них водорода [9]. Увеличение числа вспышек N испарительного

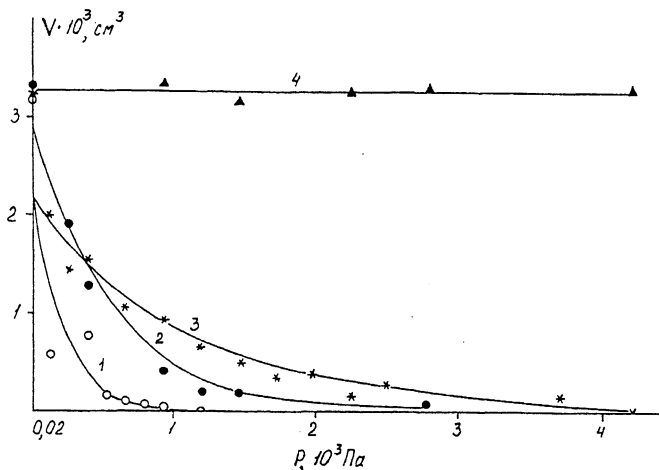
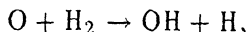
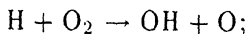


Рис. 2. Зависимости $V(P)$ для алюминиевого сплава 1420 при $N = 1$ (1 — в кислороде, 2 — в воздухе, 3 — в двуокиси углерода, 4 — в аргоне).

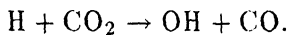
лазера приводит примерно к пропорциональному увеличению общего количества образующегося H_2 . Как следует из рис. 1, объем молекулярного водорода, выделившегося в рабочую камеру при больших N , стремится к нулю при больших значениях давления воздуха. Давление атмосферы инертного газа аргона на регистрируемый сигнал не влияет (см. рис. 2). Влияние атмосферы чистого кислорода на зависимость $V(P)$ более сильное, чем атмосферы воздуха или двуокиси углерода. Из рис. 2 видно, что в случаях наличия атмосферы кислорода, воздуха, двуокиси углерода существует давление, при котором количество образовавшегося водорода в рабочей камере ничтожно мало. Экстраполяция полученных экспериментальных точек $V(P)$ по методу наименьших квадратов показала, что уменьшение V с увеличением P во всех случаях удовлетворительно описывается функцией $V = V_0 \exp(-kP)$, где V_0, k — некоторые положительные постоянные (см. рис. 1 и 2, кривые 1–3).

Уменьшение количества регистрируемого водорода, выделяющегося из алюминиевого сплава при лазерном воздействии в атмосфере более плотного воздуха, не связано с образованием оксидной пленки на поверхности. Действительно, аналогичная зависимость наблюдается и для стали (см. рис. 1, б), у которой, как хорошо известно, оксидная пленка является рыхлой. Наблюдаемые экспериментальные зависимости $V(P)$ можно объяснить тем, что атомы водорода, вылетающие из металла, могут вступать в химические реакции с молекулами окружающей среды. Аргон по отношению к водороду является инертным веществом.

Отсюда следует, что атмосфера чистого аргона не может уменьшать количество водорода, выделившегося из металла при лазерном оплавлении и испарении. Это находится в соответствии с экспериментальной кривой 4 на рис. 2. Известно, что взаимодействие водорода с кислородом происходит по следующей цепной схеме [10]:



где H и OH — радикалы, возникающие в смеси кислорода с водородом при подводе энергии извне. Очевидно, что при лазерном расплавлении и испарении металла возможно образование радикалов H с большой энергией возбуждения. Следовательно, они легко вступают в химическую реакцию с кислородом по указанной выше схеме. В результате всего этого образуются молекулы воды. Водород исчезает, что и наблюдается экспериментально. Аналогично можно объяснить влияние двуокиси углерода на результаты экспериментов, учитывая, что возбужденный атом водорода способен вступать в следующую химическую реакцию [11]:



Таким образом, в данной работе экспериментально показано, что количество молекулярного водорода, образующееся в рабочей камере при лазерном расплавлении и испарении металла, существенно зависит от давления и типа газообразной среды, окружающей металл. Увеличения давления кислорода, воздуха, двуокиси углерода в диапазоне низкого вакуума приводит к экспоненциальному уменьшению количества молекулярного водорода. При этом влияние атмосферы кислорода проявляется более существенно. Наблюдаемые закономерности можно объяснить протеканием высокотемпературных химических реакций, сопровождающихся исчезновением молекулярного водорода.

Список литературы

- [1] Зусев Б.К., Касаткин Г.Н., Кулаков Ю.А., Кунин Л.Л., Михайлова Г.В. // Журнал аналитической химии. 1979. Т. 34. В. 9. С. 1714–1719.
- [2] Зельдович Б.Я., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М., 1966. 686 с.
- [3] Meyer R.T., Lynch A.W., Freese J.M. // J. Phys. Chem. 1973. V. 77. N 9. P. 1083–1092.
- [4] Simard B., Mitchell S.A., Humphries M.R., Hackett P.A. // J. Molecular Spectr. 1988. V. 129. N 1. P. 186–201.

- [5] Акимов А.Г., Бонч-Бруевич А.М., Гагарин А.П. и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 18. С. 1093-1098.
- [6] Воробьев А.Я. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 3. С. 64-67.
- [7] Regnier P.R., Taran J.P.E. // Appl. Phys. Lett. 1973. V. 23. N 5. P. 240-242.
- [8] Михеев Г.М., Малеев Д.И., Магнев Е.С., Мозилева Т.Н. // ЖПС. 1994. Т. 60. В. 1-2. С. 11-18.
- [9] Михеев Г.М., Магнев Е.С. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 2. С. 38-42.
- [10] Семенов Н.Н. Цепные реакции. М., 1986. 535 с.
- [11] Кондратьев В.Н. Константы скорости газозфазных реакций. М., Наука, 1970. 351 с.

Институт прикладной механики,
Уральское отделение
Ижевск

Поступило в Редакцию
21 мая 1994 г.