

03; 05; 07

© 1993

О ВЫДЕЛЕНИИ АНОМАЛЬНО БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ  
ВОДОРОДА ИЗ МЕТАЛЛОВ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Г.М. М и х е е в., Е.С. М а х н е в

В настоящее время имеется достаточно много экспериментальных и теоретических работ, посвященных исследованию взаимодействия лазерного излучения с твердым телом, например, [1-8]. Исследования, главным образом, посвящались изучению гидродинамики расплава и структурно-фазовых превращений, возникающих в металлах после лазерного воздействия. В то же время хорошо известно, что любой металл или его сплав в своем составе содержит определенное количество водорода в той или иной форме. Очевидно, что лазерное воздействие на поверхность металлического образца приводит к выделению водорода и изменению его распределения в зоне воздействия мощного излучения, которые, в конечном счете, могут приводить к совершенно неожиданным результатам. Однако, насколько нам известно, в литературе эти моменты не нашли своего отражения. С другой стороны, эксперименты по выделению водорода из металла при лазерном воздействии представляют интерес и с точки зрения разработки методики экспресс-анализа этого газа [9, 10].

Эксперименты проводились по следующей методике. Исследуемые образцы после необходимой подготовки взвешивались на аналитических весах ВЛР-200 и помещались в оптическую рабочую камеру. После предварительной откачки воздуха до  $10^3$  Па камера закрывалась. Далее, на поверхность образца производились вспышки сфокусированным лучом неодимового лазера („Квант-15“) с энергией в импульсе до 10 Дж. При этом на поверхности образца возникали кратеры с диаметром около 0,5 мм и глубиной до 2 мм в зависимости от типа сплава. Водород, выделившийся в результате испарения и оплавления металла, регистрировался методом антистоксовой спектроскопии вынужденного комбинационного рассеяния света (ВКР), подобно тому, как измерялось пространственное распределение водорода в пламени горелки [11]. Калибровка измерений осуществлялась введением заданных объемов водорода в рабочую камеру с помощью хроматографических шприцов. Повторное взвешивание исследуемого образца позволяло судить о массе металла, выброшенного наружу в результате оплавления и испарения, следовательно, и о массе металла, из которой преимущественно выделение водорода.

Эксперименты показали, что при заданных параметрах импульса лазера и геометрии фокусировки количество водорода  $V_0$ , выделившееся из исследуемых образцов (титановых и алюминиевых

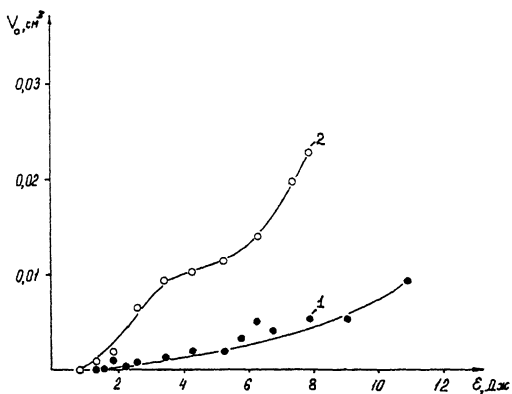


Рис. 1. Зависимость общего количества выделившегося водорода  $V_0$  из стали 30ХГСА (1) и из алюминиевого сплава 1420 (2) от энергии  $\mathcal{E}$  импульсов лазера при  $N = 3$ .

сплавов, стали) возрастает прямо пропорционально количеству вспышек  $N$  испарительного лазера. Этот очевидный факт объясняется увеличением массы выброшенного и испаренного металла с ростом  $N$ . При заданной геометрии фокусировки и количестве вспышек объем экстрагируемого водорода  $V_0$  существенно зависит от энергии  $\mathcal{E}$  импульса излучения (см. рис. 1). При  $\mathcal{E}$ , меньшей некоторого критического значения  $\mathcal{E}_{cr}$ , водород из металла не выделяется, что связано с отсутствием оплавления и испарения металла из-за недостаточного энерговклада в материал. Из экспериментально полученных кривых, представленных на рис. 1 следует, что значения  $\mathcal{E}_{cr}$  для стали 30ХГСА и алюминиевого сплава 1420 близки, но вполне различимы. При  $\mathcal{E} > \mathcal{E}_{cr}$  происходит выброс части металла из опытного образца с интенсивным выделением водорода, причем при одних и тех же условиях эксперимента выброшенная наружу масса стали 30ХГСА примерно в пять раз больше выброшенной массы алюминиевого сплава 1420. Однако, как следует из рис. 1, из алюминиевого сплава водород выделяется с большей эффективностью во всем диапазоне дальнейшего увеличения  $\mathcal{E}$ .

Измерение массы выброшенного наружу металла при лазерном воздействии и выделившегося при этом объема водорода позволяет судить о концентрации  $C_L$  водорода в металле. В таблице приведены  $C_L$  для различных сплавов в сопоставлении с типичными значениями концентрации водорода  $C_{VD}$  в тех же сплавах, полученными методом вакуум-плавнения [12]. Бросается в глаза впечатляющее расхождение значений  $C_L$ ,  $C_{VD}$ . Примерное равенство  $C_L$  и  $C_{VD}$  имеет место лишь для сплава ВТЗ-1 с высоким содержанием водорода. Очевидно, что значения  $C_L$  являются приближен-

Концентрация водорода в массовых процентах для различных металлических образцов, рассчитанные из результатов настоящей работы ( $C_L$ ), и полученные методом вакуум-плавления ( $C_{VD}$ ).

Концентрация	Алюминиевые сплавы				
	4-66	2-116	2-147	2-146	1420
$C_L$	0.37	0.38	0.28	0.42	0.5
$C_{VD}$	$1.44 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$1.44 \cdot 10^{-5}$	$7.2 \cdot 10^{-6}$	$2.7 \cdot 10^{-5}$

Концентрация	Титановые сплавы			Сталь 30ХГСА
	BT 3-1	BT-14 № 1	BT-14 № 2	
$C_L$	1.2	$6.6 \cdot 10^{-2}$	$9.6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
$C_{VD}$	0.8	$1 \cdot 10^{-2}$	$8.5 \cdot 10^{-3}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$

ными. Дело в том, что при определении концентрации  $C_L$  не принималась в расчет масса металла, остающаяся в образце, но существенно подвергающаяся термическому воздействию с выделением водорода. Это может приводить к некоторому незначительному завышению рассчитываемых значений  $C_L$ . Очевидно, что поправка, связанная с этим обстоятельством, отнюдь не может объяснить огромное расхождение значений  $C_L$  и  $C_{VD}$ . Такое расхождение можно объяснить только тем, что при лазерном воздействии из металла выделяется гораздо больше водорода, чем в условиях вакуум-плавления. Действительно, эксперименты показали, что воздействие лазерного излучения на алюминиевый сплав 1420 приводит к тому, что наряду с выделением газа во время лазерной вспышки, водород продолжает выделяться из образца в течение продолжительного времени, вплоть до трех суток (см. рис. 2). При этом объем газа  $V_1$ , экстрагируемый из образца в течение продолжительного времени после лазерного воздействия, сравним с количеством водорода  $V_0$ , выделившимся непосредственно во время действия импульса лазера. Эксперименты показали, что общий объем газа  $V_1$  и скорость его выделения зависит от количества лазерных импульсов  $N$ . Это свидетельствует о том, что процесс экстракции водорода происходит именно из тех участков образца, которые подвергались энергетическому воздействию. В этом можно было убедиться и визуально, наблюдая выделение мельчайших пузырьков газа из облученных участков сплава 1420, помещенного в глицерин после лазерного воздействия.

Таким образом, проведенные в данной работе эксперименты показывают, что фактическое содержание водорода в алюминиевых сплавах во много раз больше общепринятых значений.

Одним из возможных объяснений этого факта может явиться существование тугоплавких гидридов, которые в условиях вакуум-

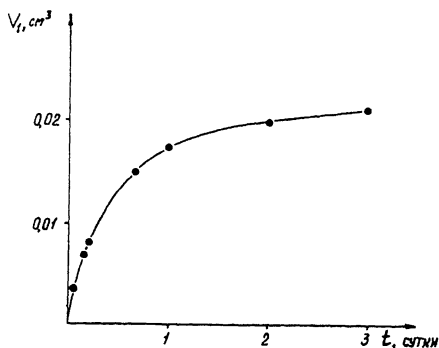


Рис. 2. Зависимость количества выделяющегося водорода  $V_g$  из сплава 1420 от времени  $t$  после импульсного лазерного воздействия ( $t = 0$ ) при  $N = 14$  и  $\varepsilon = 8,5$  Дж.

плавления не распадаются, но эффективно разлагаются под воздействием мощного лазерного излучения. Другим объяснением может служить предложенная нами гипотеза о существовании растворенного в сплаве мономолекулярного водорода, который, подобно атому углерода, находится в „пустотах“ кристаллической решетки и не выделяется из расплава в условиях вакуум-плавления из-за чрезвычайно слабой выталкивающей силы. Проверка предложенных гипотез является предметом дальнейших исследований.

Образцы сплавов и данные анализов, полученные методом вакуум-плавления, любезно предоставлены Верхнесалдинским металлургическим производственным объединением и Каменск-Уральским металлургическим заводом.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [ 1 ] Б а б и к о в а Ю.Ф., К а ю к о в С.В., П е т р и к и н Ю.В. // Физика и химия обработки материалов. 1991. В. 1. С. 56-62.
- [ 2 ] З а й к и н А.Е., К а т у л и н В.А., Л е в и н А.В., П е т р о в А.А. // ДАН СССР. 1991. Т. 316. В. 6. С. 1398-1400.
- [ 3 ] Л а з н е в а Э.Ф., Б а р ы ш е в И.В. // ЖТФ. 1991. Т. 61. В. 9. С. 167-169.
- [ 4 ] К о н д ы р е в А.М., Ш е р б а к о в И.П., А б р а м о в а К.Б., Ч м е л ь А.Е. // ЖТФ. 1992. Т. 62. В. 1. С. 206-208.
- [ 5 ] У г л о в А.А., С м у р о в И.Ю., А к с е н о в Л.В. // Квантовая электроника. 1991. Т. 18. В. 7. С. 882-885.
- [ 6 ] П р о х о р е н к о В.Я., Т у р ч е н к о Н.П. // Поверхность. Физика, механика. 1991. В. 8. С. 113-118.

- [7] В r a n n o n J.H., Т а m A.C., К u r t h R.H. // J. Appl. Phys. 1991. V. 70. N 7. P. 3881-3886.
- [8] В o u s t i c M., С o t t e t F. // J. Appl. Phys. 1991. V. 69. N 11. P. 7533-7538.
- [9] З у е в Б.К., К а с а т к и н Г.Н., К у л а к о в Ю.А., К у н и н Л.Л., М и х а й л о в а Г.В. // Журнал аналитической химии. 1979. Т. 34. В. 9. С. 1714-1719.
- [10] М а r w i s k A.D., L i u J.C., R o d b e l l K.P. // J. Appl. Phys. 1991. V. 69. N 11. P. 7921-7923.
- [11] R e g n i e r P.R., Т а r a n J.P.E. // Appl. Phys. Lett. 1973. V. 23. N 5. P. 240-242.
- [12] Р а б к и н Д.М. Металлургия сварки плавлением алюминия и его сплавов. Киев: Наук. думка. 1986. С. 256.

Институт прикладной  
механики УрО РАН,  
Ижевск

Поступило в Редакцию  
19 декабря 1992 г.