

ВАКУУМНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА МАТЕРИАЛОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

*Н.Б. Боброва, В.М. Горбатенко, П.А. Куценко, Е.Ю. Роскошная,
В.И. Соколенко, А.А. Чупиков*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина
E-mail: Gorbatenko@kipt.kharkov.ua*

Вакуумная установка предназначена для отжига образцов металлов и сплавов в постоянном и переменном магнитных полях в температурном интервале 20...880 °С и высоком вакууме. Изучение влияния магнитных полей на физико-механические свойства конструкционных материалов дает возможность применять полученные результаты для углубления представлений о физических процессах при магнитотермической обработке в различных условиях, а также для разработки приемов направленного воздействия на их свойства.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования влияния постоянных и переменных магнитных полей на структуру и свойства различных материалов уделялось и уделяется значительное внимание. Широко известен магнитоэлектрический эффект в магнитоупорядоченных [1] и немагнитных материалах [2]. Магнитное поле оказывает существенные воздействия на диффузионные процессы [3], изменения структурного состояния и механических свойств сварных соединений [4, 5], деформированных [6, 7] и облученных [8] сталей. Отмечается важность понимания физических процессов при действии магнитных полей на конструкционные материалы, используемые в экспериментальных термоядерных установках и ускорительной технике [9]. Механизмы влияния переменных и импульсных полей на дефекты кристаллической решетки активно изучаются [10]. При исследованиях эффектов воздействия магнитных полей в области высоких температур применительно к конструкционным материалам, активно взаимодействующих с атмосферными газами, необходимы хорошие вакуумные условия. В этой связи нами разработана и создана компактная установка для отжига металлов и сплавов в магнитных полях в вакууме при температурах от 20 до 880 °С.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка состоит из вакуумной камеры с печью, электросопротивления, электромагнита, систем откачки и электропитания.

Схема установки показана на рис. 1.

Отжиг образцов производится в вакуумной камере, состоящей из двух частей – кварцевой колбы с наружным и внутренним диаметрами соответственно 51 и 47 мм и высотой 500 мм, в которой размещена отжигочная печь; металлической «капки» с разъемным фланцевым соединением и коммуникациями для откачки. Кварцевая колба соединена с «капкой» вакуумным резиновым уплотнением, имеющим принудительное охлаждение проточной водой. В съемном фланце

размещены вакуумированные электрические вводы для питания печи, снятия показаний термопары и измерения электросопротивления отжигаемых образцов. ЭДС термопары измерялась нановольтметром, а электросопротивление – потенциометрическим методом. Удельное электросопротивление образцов измерялось как непосредственно в процессе отжига, так и после охлаждения при комнатной и азотной температурах. Общий объем вакуумной камеры составляет примерно 1300 см³.

Откачка рабочего объема на высокий вакуум может осуществляться двумя независимыми способами: паромасляным диффузионным насосом или последовательно включенными сорбционным и парортутным диффузионными насосами. Давление остаточных газов в рабочем объеме установки при откачке паромасляным насосом составляет $(5...7) \cdot 10^{-7}$ Торр при температуре печи 855 °С. В случае откачки вакуумной камеры парортутным и сорбционным насосами давление остаточных газов при откачке составляет $(4...6) \cdot 10^{-6}$ Торр. При отжиге химически активных металлов, таких как титан и цирконий, а также их сплавов применяются сорбционный и парортутный насосы. Как показали эксперименты, отжиг указанных образцов в вакууме, получаемом с помощью паромасляного насоса, может повлиять на результаты при измерении микротвердости.

Нагревательный элемент печи для отжига образцов изготовлен из ниобиевой проволоки и крепится специальными зажимами непосредственно к массивным тоководам, по которым осуществляется питание печи. Источник питания стабилизирован, что позволяет добиться хорошего термостатирования во времени. Дрейф температуры отжига при температуре печи 870 °С находится в пределах ± 2 °С в час. Максимальная температура отжига, полученная в процессе работы, достигала 887 °С. Размеры внутренней (рабочей) части печи составляют: диаметр 15 мм, высота 97 мм. Температура в рабочей зоне измеряется хромель-алюмелевой термопарой в керамическом чехле, которая вместе с образцами помещается в специальную кварцевую ампулу.

В процессе отжига образцы могут подвергаться воздействию постоянного и переменного магнитных полей с частотой 50 Гц. Поле создается внешним электромагнитом, между полюсами которого расположен рабочий объем вакуумной камеры с отжиговой печью (см. рис.1).

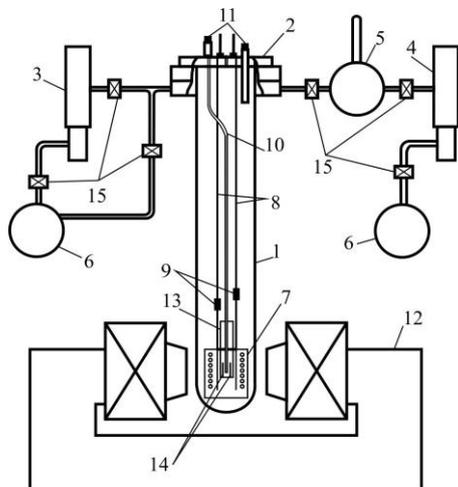


Рис. 1. Схема установки: 1 – кварцевая колба; 2 – металлическая «капка»; 3 – паромасляный диффузионный насос; 4 – парортутный диффузионный насос; 5 – сорбционный насос; 6 – форвакуумный насос; 7 – отжиговая печь; 8 – тоководы питания печи; 9 – зажимы крепления печи; 10 – термопара хромель-алюмель; 11 – вакуумированные измерительные вводы; 12 – электромагнит; 13 – кварцевая ампула для образцов; 14 – отжигаемые образцы; 15 – вакуумные клапаны

Максимальное расстояние между полюсами составляет 52 мм. Магнитопровод (сердечник) электромагнита набран из тонких пластин трансформаторной стали и имеет сечение 84×32 мм. Полюса магнита в сечении, параллельном плоскости основания, имеют форму равнобедренной трапеции, меньшее основание которой направлено в сторону центра, и выполняют роль концентраторов магнитного поля в зазоре. Суженные части полюсов имеют вид прямоугольника со сторонами размером 59×32 мм, что позволяет создавать однородное магнитное поле в пространстве, где размещаются отжигаемые образцы. Величина напряженности магнитного поля внутри печи в горизонтальном направлении практически постоянна, а по вертикали на расстоянии 30 мм изменяется ($\sim 2,5\%$). Напряженность магнитного поля измерялась чувствительным датчиком Холла с размером рабочей зоны $1 \times 1,5$ мм. Постоянная электромагнита в центре зазора равняется $0,0265$ Тл/А. Величина напряженности магнитного поля в ходе эксперимента изменялась в пределах $0,02 \dots 0,13$ Тл. Электропитание магнита осуществлялось стабилизированным источником тока.

Изменение напряженности магнитного поля вдоль центральной осевой линии в зазоре между полюсами магнита показано на рис. 2. Напряженность магнитного поля в центре зазора (в

зоне расположения образцов) на $\sim 17\%$ меньше значения напряженности вблизи поверхности полюсов.

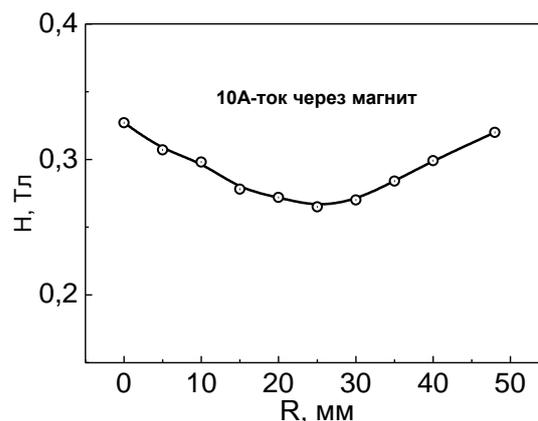


Рис. 2. График изменения напряженности магнитного поля между полюсами в зазоре магнита

На рис. 3 приведены зависимости остаточного удельного электросопротивления от температуры отжига образцов титанового сплава ВТ6 в исходном состоянии и деформированных путем квазигидроэкструзии (на $\sim 20\%$) и прокатки (на $\sim 30\%$) при температуре жидкого азота. Вакуумная камера откачивалась паромасляным диффузионным насосом. При фиксированной температуре отжига образцы выдерживались в течение одного часа в вакууме не ниже $6 \cdot 10^{-7}$ Торр, после чего охлаждались со скоростью, не превышающей $2,2$ град/ч. Остаточное удельное электросопротивление измерялось при $T = 77$ К четырехточечным методом.

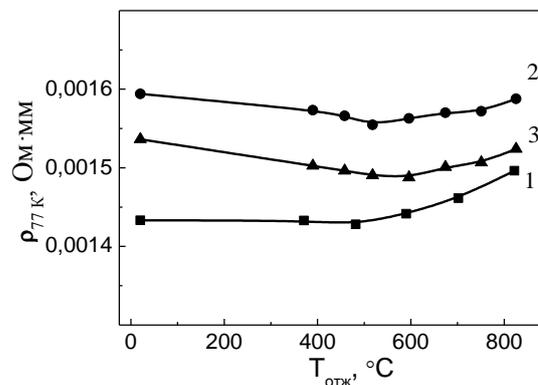


Рис. 3. Зависимости остаточного удельного электросопротивления при $T = 77$ К сплава ВТ6 от температуры отжига: 1 – исходное состояние; 2 – деформация квазигидроэкструзией; 3 – деформация прокаткой

Увеличение остаточного электросопротивления образцов при температурах отжига больше 500 $^\circ\text{C}$ можно было бы связать с поглощением химически активными образцами остаточных газов в вакуумной камере. В этом случае, однако, прирост ρ был бы примерно одинаков для всех образцов. Из рис. 3 видно, что относительный прирост ρ после отжига в интервале температур $500 \dots 800$ $^\circ\text{C}$ максимальный для недеформированного образца и

снижается в ~2 раза для деформированных образцов, что может свидетельствовать о различной интенсивности структурных изменений.

В процессе работы установки исследовалось влияние магнитотермической обработки на электрофизические и механические свойства чистого никеля и α -железа, а также на сталь 15X2НМФА в зависимости от степени их низкотемпературной деформации. Результаты этих экспериментов будут опубликованы позже.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. И.М. Неклюдов, Я.Д. Стародубов, В.И. Соколенко. Влияние магнитных полей на сопротивление пластической деформации кристаллических тел // *УФЖ*. 2005, т. 50, №8А, с. А113-А121.

2. Р.Б. Моргунов. Спиновая микромеханика в физике пластичности // *УФН*. 2004, т. 174, №2, с. 131-153.

3. В.Ф. Мазанко, А.В. Покоев, В.М. Миронов и др. *Диффузионные процессы в металлах и сплавах под действием магнитных полей и импульсных деформаций* / В двух томах. М.: «Машиностроение-1»; Самара: Самарский ун-т, 2006, т. 1, 346 с.

4. И.М. Неклюдов, В.М. Ажажа, К.А. Ющенко, В.И. Соколенко, А.В. Мац, В.М. Нетесов, В.В. Вартанов. Влияние магнитной обработки на механические характеристики и термические напряжения сварных соединений корпусной стали 15X2НМФА // *Физика и химия обработки материалов*. 2011, №1, с. 84-88.

5. A.L. Lu, F. Tang, X.J. Luo, J.F. Mei, H.Z. Fang. Research on residual-stress reduction by strong pulsed

magnetic treatment // *Journal of Materials Processing Technology*. 1998, v. 74, issue 1-3, p. 259-262.

6. Guoyi Tang, Zhuohui Xu, Miao Tang, Xihua Chen, Huihua Zhou, Anli Lu. Effect of a pulsed magnetic treatment on the dislocation substructure of a commercial high strength steel // *Materials Science and Engineering A*. 2005, v. 398, p. 108-112.

7. V.I. Sokolenko, A.V. Mats, V.I. Karas`, V.S. Okovit, N.A. Chernyak, V.M. Gorbatenko. Changes in the physical-mechanical properties and structure of ferriticpearlitic steel 15Kh2NMFA from several low temperature // *ФНТ*. 2015, v. 41, N 4.

8. A.N. Dovbnya, V.I. Sokolenko, E.V. Karaseva, A.V. Mats, V.A. Mats, E.S. Savchuk. Effect of alternating magnetic field on creep of irradiated vessel steel 15Kh2NMFA // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 2014, №2, с. 39-42.

9. П.А. Александров, В.В. Бударрагин, М.Н. Шахов, Н.И. Никанорова, Е.С. Трофимчук. Механические свойства некоторых материалов в магнитном поле // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Термоядерный синтез»*. 2006, в. 1, с. 24-30.

10. В.И. Карась, А.М. Власенко, В.И. Соколенко. Неравновесная кинетика электрон-фононной подсистемы кристалла в сильном электрическом и магнитном полях как основа электро- и магнитопластического эффектов // *LV Международная конференция «Актуальные проблемы прочности»*, 9–13 июня 2014 г., Харьков, Украина. Харьков: НИЦ ХФТИ, 2014, с. 14.

Статья поступила в редакцию 18.02.2015 г.

ВАКУУМНА УСТАНОВКА ДЛЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВІДПАЛУ МАТЕРІАЛІВ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ

Н.Б. Боброва, В.М. Горбатенко, П.А. Куценко, Є.Ю. Роскошина, В.І. Соколенко, А.О. Чупіков

Вакуумна установка призначена для відпалу зразків металів і сплавів у постійному і змінному магнітних полях у температурному інтервалі 20...880 °С і високому вакуумі. Вивчення зміни фізико-механічних властивостей конструкційних матеріалів внаслідок впливу магнітних полів дає можливість застосовувати отримані результати для поглиблення уявлень про фізичні процеси при магнітотермічній обробці в різних умовах, а також для розробки прийомів спрямованої зміни властивостей.

VACUUM UNIT FOR HIGH TEMPERATURE ANNEALING OF MATERIALS IN THE MAGNETIC FIELD

N.B. Bobrova, V.M. Gorbatenko, P.A. Kutsenko, E.Y. Roskoshnaya, V.I. Sokolenko, A.A. Chupikov

The vacuum unit is designed to anneal of samples of metals and alloys in a constant and alternating magnetic field in the temperature range 20...880 °C under high vacuum. Study of changes in the physical and mechanical properties of structural materials due to magnetic fields exposure makes it possible to apply obtained results to deepen understanding of the physical processes during magnetic-thermal treatments, as well as to develop methods of directed change of properties.