

Для образцов  $Cr_xHg_{1-x}Se$ ,  $Cr_xHg_{1-x-y}Mn_ySe$ , в интервале температур 60 – 300 К, обнаружен переход в фазу спинового стекла. Характер изменения магнитной восприимчивости  $\chi$  одинаков для всех образцов  $Cr_xHg_{1-x}Se$ , с содержанием хрома  $x = 0,01; 0,03; 0,05$  и  $0,07$ . При этом температура перехода в фазу спинового стекла  $T_g$  и максимум на зависимости  $\chi(T)$  для образцов различных составов различны. Наблюдаемый резкий рост  $\chi(T)$  для  $Cr_xHg_{1-x}Se$  ( $x = 0,07$ ), объясняется выделением ферромагнитной фазы  $HgCr_2Se_4$ .

Для  $Cr_xHg_{1-x-y}Mn_ySe$  ( $x=0,02; y=0,02 - 0,08$ ) также имеет место переход в фазу спинового стекла, но температура перехода выше, чем в  $Cr_xHg_{1-x}Se$ , при этом на значение величины  $\chi$  и  $T_g$  существенное влияние оказывают включения, которые имеют ферромагнитный и антиферромагнитный характер. Для образцов  $Gd_xHg_{1-x}Se$  ( $0 \leq x \leq 0,01$ ), измеренных непосредственно после роста кристалла, электрические и гальваномагнитные свойства зависят от скорости охлаждения образца, при этом проводимость в области низких температур изменяется почти на порядок, а холловская подвижность значительно превышает подвижность образцов селенида ртути с такой же концентрацией носителей заряда. Структура наблюдаемых спектров ЕСР также зависит от скорости охлаждения образца, а их изменение, объясняется коагуляцией ионов  $Gd$  в  $Gd_xHg_{1-x}Se$ , которая возникает в результате изменения деформации решетки с температурой. Измерения, проведенные на образцах  $Gd_xHg_{1-x}Se$  ( $0 \leq x \leq 0,01$ ), после выдержки при нормальных условиях на протяжении года показывают, что при концентрации гадолиния в селениде ртути, соизмеримой с концентрацией собственных точечных дефектов, роль гадолиния сводится к изменению их соотношения на фронте кристаллизации, а подвижность достигает максимального значения для состава  $x = 0,01$  и составляет  $2,8 \cdot 10^5$  см<sup>2</sup>/В.с при 77 К.

## ВЛИЯНИЕ Фуллеренсодержащих добавок на структуру алюминиевых сплавов

Свидунович Н.А.\*, Прудникова Е.И.\*, Окатова Г.П.\*\*,  
Ласковнев А.П.\*\*\*

\* Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

\*\*НИИ порошковой металлургии, Минск, Республика Беларусь

\*\*\*ФТИ НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

В результате проведения в 2000г. комплекса исследований по изучению влияния добавок фуллерена и фуллереновой сажи на кристаллическую структуру полимерных материалов была выявлена область малого содержания  $C_{60}$  – 0.01%, где изменяется кристаллическая структура полиэтилена вы-

сокого давления и полипропилена, резко улучшаются их свойства; этот эффект был назван "фуллереновой гомеопатией".

В 2002-2003 гг. проводилось исследование влияния фуллеренсодержащих материалов на структуру алюминиевых сплавов. Обладая рядом ценных свойств алюминиевые сплавы находят ограниченное применение в узлах трения из-за невысокой контактной прочности.

Применение графита в антифрикционных сплавах на основе алюминия дало новый импульс к разработке и внедрению технологий, направленных на замену дефицитных и дорогостоящих бронз, используемых в парах трения.

Было установлено, что оптимальное содержание графита в антифрикционном композите, составляет 1,0-1,8%; при этом улучшаются условия работы подшипника, и увеличивается в 3-6 раз износостойкость сплава, срок службы узла трения увеличивается на 10-15 %.

Учитывая то, что фуллерены являются близкими родственниками графита и в этой связи наследуют его широко известные антифрикционные свойства, представляется, что в технологии алюминий-графитовых материалов есть резервы повышения работоспособности подшипников путем замены простого графита фуллеренсодержащим материалом.

В качестве материала исследования в были представлены следующие образцы:

- серия образцов из сплава Al-Cu;
- фуллеренсодержащая сажа 2-х концентраций:
- экстрагированная сажа с 1% фуллеренов,
- экстрагированная сажа с 10% фуллеренов.

По специальной литейно-деформационной технологии на Минском моторном заводе было подготовлено 7 образцов, 2 из которых с содержанием 0.107% фуллерена (образец 2) и 1.07% фуллерена (образец 1) были подробно исследованы.

Для проведения исследования были использованы следующие виды анализов и исследований:

- в световом микроскопе высокого разрешения исследовалась микроструктура 2-х образцов Al-Cu-фуллеренсодержащая сажа;
- на микротвердомере индентором Виккерса при нагрузке  $P = 25$  г измерялась микротвердость внутри зерен и по структурным составляющим границ зерен образцов Al-Cu с введенной по специальной технологии фуллереновой сажой;
- методом рентгеноструктурного анализа исследовался фазовый состав образцов Al-Cu-фуллеренсодержащая сажа.

В ходе исследований получены следующие результаты:

1. Исследована микроструктура, определен фазовый состав, измерена микротвердость по структурным составляющим.
2. Исследованием выявлены существенные различия в состоянии микроструктуры образцов Al-Cu-фуллеренсодержащая сажа 2 и 1:

• образец 1 (Al-Cu + сажа + 1.07% фуллерена) рекристаллизован, по границам зерен располагается эвтектика ( $Al+CuAl_2$ ), в структурные составляющие эвтектики внедрились частицы сажи и фуллеренов; микротвердость внутри зерен -  $\sim 840$  МПа; наличие эвтектики свидетельствует об оплавлении образца.

• образец 2 (Al-Cu + сажа + 0.107% фуллерена) не рекристаллизован, по границам вытянутых в направлении деформации зерен располагаются фазы тонкого зернистого строения светлые, серого и черного цвета, в структурные составляющие которых внедрились частицы сажи, фуллеренов и карбида  $Al - Al_4C_3$ ; микротвердость внутри зерен -  $\sim 960$  Мпа.

Рентгеновская съемка, проведенная в двух сечениях вдоль и поперек деформации, выявила текстурированность в продольном направлении; фазовый состав в образце 2 определялся на поперечном образце без выявления текстуры.

Известно, что в смесях  $Al:C = 4:3$  после механической обработки и нагрева до температур  $\sim 850$  К ( $577^\circ C$ ) и выше формируется кристаллический карбид  $Al_4C_3$ . При активации смеси алюминия с небольшим количеством углерода образуются нанокристаллические структуры.

Из этих сведений следует, что в исследованных образцах с температурой нагрева, близкой к температуре формирования карбида  $Al_4C_3$ , и учитывая экзотермическую способность активированного графита, образование карбида  $Al_4C_3$  вполне возможно.

Таким образом, наметилась перспектива создания нового класса фуллеренсодержащих конструкционных материалов.