

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОПУТСТВУЮЩЕЙ ПРИМЕСИ ПРИ ОТЖИГЕ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВОВ Al-Fe, ИЗУЧЕННОЕ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ ГЕЛИЯ

И.И.Ташлыкова-Бушкевич

Белорусский государственный университет, пр. Ф. Скорины 4, 220050 г. Минск, Беларусь

Изучено распределение сопутствующей примеси сурьмы в быстрозатвердевших фольгах сплавов Al-Fe. Используя метод резерфордовского обратного рассеяния, установлено, что в сплавах Al-Fe сурьма распределена по глубине фольг неоднородно. При отжиге в интервале температур 140 °C – 500 °C концентрация сурьмы в тонком (0.04 мкм) приповерхностном слое фольг возрастает, достигая 0.2 ат. %.

Введение

Алюминиевые сплавы считаются перспективными для применения сверхбыстрой закалки из расплава (СБЗР) с целью получения легких материалов высокой прочности и высокой жесткости для использования в транспортной и аэрокосмической промышленности [1, 2]. Как известно, микроструктура сплавов зависит от скорости охлаждения расплава, его состава и метода получения сплава. Нами с применением метода резерфордовского обратного рассеяния (РОР) определено, что легирующие элементы в быстрозатвердевших (БЗ) фольгах бинарных сплавов алюминия с железом, медью, сурьмой и германием распределены неравномерно по глубине фольг [3-6]. Их содержание в тонком (0.04-0.06 мкм) слое на поверхности фольг повышено. В литых массивных образцах такой эффект не наблюдается.

В ранних исследованиях установлено, что примеси в алюминиевых сплавах влияют на формирование микроструктуры сплавов, а также на их физические свойства [7-11]. Поэтому в настоящей работе обсуждаются результаты экспериментального исследования распределения примеси в БЗ фольгах неотожженных и подвергнутых изотермическому отжигу сплавов Al-Fe.

I. Методы исследования

Сплавы Al-0.25; 1.0; 2.0 ат. % Fe получали нагреванием смеси компонентов до 1100 °C. При СБЗР сплавов (скорость охлаждения расплава не ниже 10⁶ К/с) капля расплава выплескивалась на внутреннюю поверхность вращающегося медного цилиндра. Толщина фольг составляла 30-60 мкм, ширина 5-10 мм. БЗ сплавы подвергались изотермическому отжигу при 140 °C и 500 °C в течение 2 ч. Элементный и количественный анализ контактирующей с цилиндром поверхности сплавов Al-Fe выполнялся с применением метода РОР ускоренных ионов гелия с энергией 2 МэВ. Экспериментально полученные спектры РОР обрабатывались с помощью компьютерной моделирующей программы РАМП [12]. Относительная погрешность определения концентрации элементов в БЗ сплавах не превышала 5 % (Fe) и 10 % (Sb).

II. Основная часть

На рис. 1а, б приведены энергетические спектры РОР от фольг исходного и отожженного при

500 °C сплава Al-2.0 ат. % Fe. Следует отметить, что для всех БЗ сплавов Al-Fe установлено при-

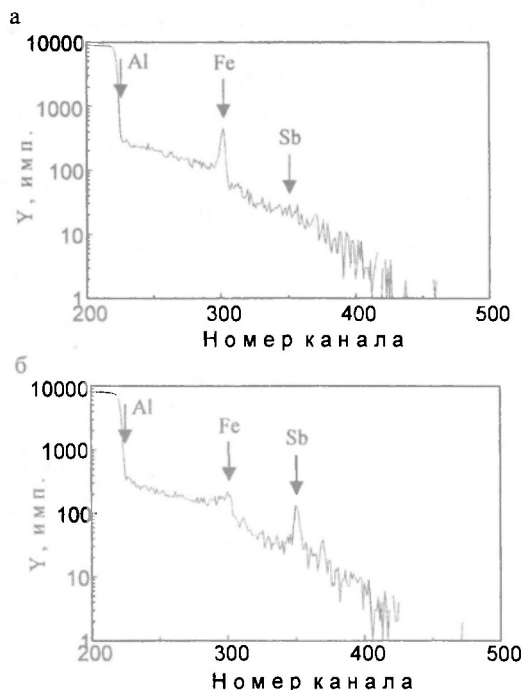


Рис. 1. Спектры РОР ионов ⁴He E=2.0 МэВ от фольг сплава Al-2.0 ат. % Fe неотожженного (а) и отожженного при 500 °C (б) соответственно.

сутствие примеси сурьмы (см. рис. 1). По-видимому, это обусловлено тем, что сурьма, как известно, является примесью железа технической чистоты [13]. Заметим, что на спектрах РОР от фольг чистого алюминия сигнал от сурьмы отсутствует. Определено, что ее содержание в тонком (0.04 мкм) приповерхностном слое фольг сплавов с разной концентрацией железа и составляет 0.02-0.04 ат. % (табл.). Установлено повышение концентрации примеси сурьмы, как и легирующего элемента железа в приповерхностном слое фольг, что, по-видимому, вызвано миграцией на поверхность фольг дефектов структуры (в том числе вакансий). Известно, что при СБЗР алюминиевых сплавов твердый раствор пересыщен не только легирующими элементами, но и вакансиями. Вакансии способны образовывать комплексы атом легирующего элемента – вакансия, атом примеси – вакансия и диффундировать, следовательно, вместе с легирующим

Таблица

Экспериментально измеренные концентрации железа и примеси сурьмы в тонком (0.04 мкм) приповерхностном слое БЗ фольг сплавов Al-Fe, а также после отжига при 140 °C и 500 °C

Материал, ат. %	Al-0.25Fe	Al-1.0Fe	Al-2.0Fe	Al-0.25Fe, отжиг при 140 °C	Al-2.0Fe, отжиг при 140 °C	Al-2.0Fe, отжиг при 500 °C
Концентрация Fe, ат. %	2.0	1.0	2.0	1.55	1.40	0.90
Концентрация Sb, ат. %	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.20

элементом или примесью [8,9,14-17]. Поэтому, поскольку границы зерен являются стоком для вакансий, то вакансионные комплексы будут диффундировать к границам зерен [17], где, как следствие, будет устанавливаться избыток и легирующего элемента, и примеси. О том, что этот эффект действия поверхности образца как стока для вакансий приводит к разнице микроструктур в окрестности поверхности образца и внутри него, сообщается в [20]. Определить наличие или отсутствие осцилляций содержания сурьмы в БЗ сплавах Al-Fe аналогичных ранее обнаруженным осцилляциям сурьмы в БЗ сплавах Al-Sb в данном исследовании невозможно, так как присутствие, кроме сурьмы, ряда примесей в сплавах Al-Fe затрудняет моделирование глубинного распределения сурьмы в фольгах.

Установлено, что при отжиге сплавов Al-Fe с температурой 140 °C концентрация сурьмы на поверхности фольг остается неизменной, в то время как содержание железа на поверхности фольг снижается в сплавах Al-0.25; 0.2 ат. % Fe в 1.3 и 1.4 раза соответственно (см. табл., [3]). После отжига при 500 °C концентрация сурьмы на поверхности резко возрастает более, чем в 10 раз по сравнению с неотожженными фольгами сплава Al-2.0 ат. % Fe (см. рис. 1, табл.). При этом содержание железа на поверхности фольг уменьшилось в 2.2 раза по сравнению с исходным образцом. В [21] сообщается о том, что концентрация примеси платины, имплантированной в БЗ фольги сплава Al-Mn, после отжига при 300 °C на поверхности фольг увеличивается в ~10 раз за счет диффузии примеси с глубины образцов. Поэтому можно предположить, что в интервале температур отжига 140 °C-500 °C происходит диффузия сопутствующей примеси сурьмы на поверхность БЗ фольг сплавов Al-Fe. Однако при этом отметим, что концентрация легирующего элемента железа на поверхности фольг снижается из-за диффузии железа в объем образцов при отжиге [3].

Заключение

Определено, что в БЗ сплавах Al-Fe присутствует неравномерно распределенная по глубине примесь сурьма. Ее концентрация в тонком (0.04

Автор благодарен В.С.Куликаускасу (НИИЯФ МГУ) за помощь при проведении экспериментов с применением метода POP.
Данная работа поддержана БРФФИ.

Список литературы

1. Srivatsan T.S., Sudarshan T.S., Lavernia E.J. // Progress In Materials Science. – 1995. – Vol. 39. – P. 317.
2. Li P.Y., Dai S.L., Chai S.C., Li Y.R. // Scripta mater. – 2000. – Vol. 42. – P. 955.
3. Ташлыкова-Бушкевич И.И., Шепелевич В.Г. // ФХОМ. – 1999. – № 6. – С. 73.
4. Ташлыкова-Бушкевич И.И. // Взаимодействие излучений с твердым телом: Материалы III Международной конференции. – Мн., 1999. – Ч. I. – С. 154.
5. Tashlykova-Bushkevich I.I., Shepelevich V.G. // J. Alloys and Compounds. – 2000. – Vol. 299. – P. 205.
6. Ташлыкова-Бушкевич И.И., Шепелевич В.Г. // ФХОМ. – 2000. – № 4. – С. 99.
7. Allen C.M., O'Reilly K.A.Q., Cantor B., Evans P.V. // Progress in Materials Science. – 1998. – Vol. 43. – P. 89.
8. Hirose S., Sato T., Kamio A., Flower H.M. // Acta mater. – 2000. – Vol. 48. – P. 1797.
9. Sercombe T.B., Schaffer G.B. // Acta mater. – 1999. – Vol. 47. – P. 689.
10. Hono K. // Acta mater. – 1999. – Vol. 47. – P. 3127.
11. Allen C.M., O'Reilly K.A.Q., Evans P.V., Cantor B. // Acta mater. – 1999. – Vol. 47. – P. 4387.
12. Doolittle L. N. // Nucl. Instr. and Meth. – 1985. – Vol. B9. – P. 344.
13. Каменецкая Д.С., Пилецкая И.Б., Ширяев В.И. Железо высокой степени чистоты. – М.: Металлургия, 1978. – 248 с.
14. Кузей А.М. // Доклады Акад. наук Беларуси. – 1995. – Т. 39. – С. 118.
15. Кузей А.М. // Доклады Акад. наук Беларуси. – 1996. – Т. 40. – С. 122.
16. Taha M.A., El-Mahallawy N.A., Abedel-Gaffar M.F., Klaar J. // Mater. Sci. and Eng. A. – 1991. – Vol.133. – P. 758.
17. Löchte L., Gitt A., Gottstein G., Hurtado I. // Acta mater. – 2000. – Vol. 48. – P. 2969.
18. Somora A., Dupasquier A., Polmear I.J., Folegati P., Ferragut R. // Phys. Rev. B. – 2000. – Vol. 61. – P. 14454.
19. De Haas M., de Hosson J.Th.M. // Scripta mater. – 2001. – Vol. 44. – P.281.
20. Brokman A. // Acta metall. – 1987. – Vol. 35. – P. 307.
21. Böttiger J., Chevallier J., Mikkelsen N.J., Nielsen S.K., Torp B., Rao K.V., Chen H.S. // Physical Rev. B. – 1986. – Vol. 33. – P. 4367.

REDISTRIBUTION ASSOCIATE IMPURITY BY ANNEALING OF RAPIDLY SOLIDIFIED Al-Fe ALLOYS STUDIED BY MEANS OF RUTHERFORD BACKSCATTERING SPECTROSCOPY

I.I. Tashlykova-Bushkevich

*Department of Solid State Physics, Belorussian State University, Scoryna Ave. 4, 220050 Minsk, Belarus,
email: iya_tb@mail.ru*

The associate antimony-impurity distribution in rapidly solidified Al-Fe alloy foils has been investigated. It was determined by Rutherford backscattering spectroscopy technique that the antimony distribution in Al-Fe alloys is irregular. The antimony concentration at the foil surface ($0.04 \mu\text{m}$) is increased reaching 0.2 at. % by annealing at 140°C - 500°C temperature range.