

(Институт ядерной физики, Алматы, Республика Казахстан)

СТРУКТУРА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ СООСАЖДЕНИЕМ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ И МАГНИЯ

Аннотация. В результате соосаждения ультрадисперсных частиц алюминия и магния, распыленных в плазме низкого давления на необогреваемую подложку, получены сплавные покрытия, при исследовании структуры которых установлено значительное расширение концентрационных границ существования твердых растворов: магния в алюминий до 21,9 ат. % Mg и алюминия в магний до 21,4 ат. % Al, а также области гомогенности интерметаллического соединения Al_3Mg_2 , определены параметры решетки фаз. Причиной расширения полей существования фаз на диаграмме состояния является размерный фактор.

Ключевые слова: алюминий, магний, покрытие, концентрация, твердый раствор, интерметаллическое соединение, кристаллическая решетка.

Тірек сөздер: алюминий, магний, жабын, концентрация, катты ерітінді, интерметалдық қосылыс, кристалдық тор.

Keywords: aluminum, magnesium, coating concentration, solid solution, intermetallic compound, the crystalline lattice.

В системе Al-Mg, полученной традиционным плавлением компонентов, образуются фазы β (Al_3Mg_2), γ ($Al_{12}Mg_{17}$), ξ ($Al_{52}Mg_{48}$) и ϵ ($Al_{30}Mg_{23}$) [1]. Фазы β и γ плавятся конгруэнтно при температурах 453 и 460°C. Фазы ξ и ϵ образуются по перитектическим реакциям при 452 и 450°C.

Известно [2], что формирование материалов соосаждением распыленных ультрадисперсных частиц металлов позволяет получить сплавы, запрещенные равновесными диаграммами состояния, интерметаллические соединения при низких (менее 200°C) температурах и значительно расширить их области гомогенности.

В этой связи выполнено исследование, имеющее целью получение сплавных покрытий в системе алюминий-магний и исследование их структуры.

Методика получения пленочных образцов системы алюминий-магний с использованием размерного фактора заключалась в следующем. Пленочные покрытия формировали соосаждением распыленных в плазме низкого давления ультрадисперсных частиц субнанометрового размера. Соотношение осажденных компонентов контролировали весовым способом – по количеству распыленного и осажденного

металла во время формирования покрытия. Точность определения концентрации компонентов составляла 0.2%. В экспериментах использованы алюминий и магний, содержащие не менее 99,99 мас. % основного элемента. Удельная скорость распыления алюминия определена равной 68 ± 1 мкмоль/(Вт·час), магния - 199 ± 13 мкмоль/(Вт·час).

Рентгеноструктурные исследования выполнены на дифрактометре D8 Advance фирмы Bruker с медным излучением $\lambda_{\text{CuK}\alpha} = 0.154051$ нм с графитовым монохроматором. Значение параметра решетки вычислено как среднее при использовании всех дифракционных линий от данной фазы.

Сформировано 4 состава покрытий, содержащих 21,9; 33,7; 57,6 и 78,6 ат. % Mg.

Дифрактограммы покрытий приведены на рисунке 1.

Покрытие с концентрацией магния 21,9 ат. % (рисунок 1,1) представляет собой твердый раствор магния в алюминии, имеющий гранцентрированную кубическую решетку с параметром $a = 0,4072 \pm 0,0001$ нм. Очевидно, что все составы пленочных образцов системы алюминий-магний до указанной концентрации магния будут также представлены твердым раствором Mg в Al.

Система с содержанием магния 33,7 ат.% (рисунок 1,2) представлена гексагональной фазой $\text{Al}_{0,58}\text{Mg}_{0,42}$ с параметрами решетки $a = 0,7669$ нм и $c = 1,9847$ нм. Однако из [1] известно, что температурный порог образования этой фазы сплавлением компонентов в обычных условиях составляет 450°C , в то время как температура получения покрытия с помощью соосаждения ультрадисперсных частиц не превышает 150°C . То есть в этом случае происходит прямой синтез интерметаллического соединения.

Рисунок 1 –
Дифрактограммы покрытий
системы алюминий-магний:

1 – при содержании магния в сплаве 21,9 ат. %;

2 – то же 33,7; 3 – то же 57,6; 4 – то же 78,6;

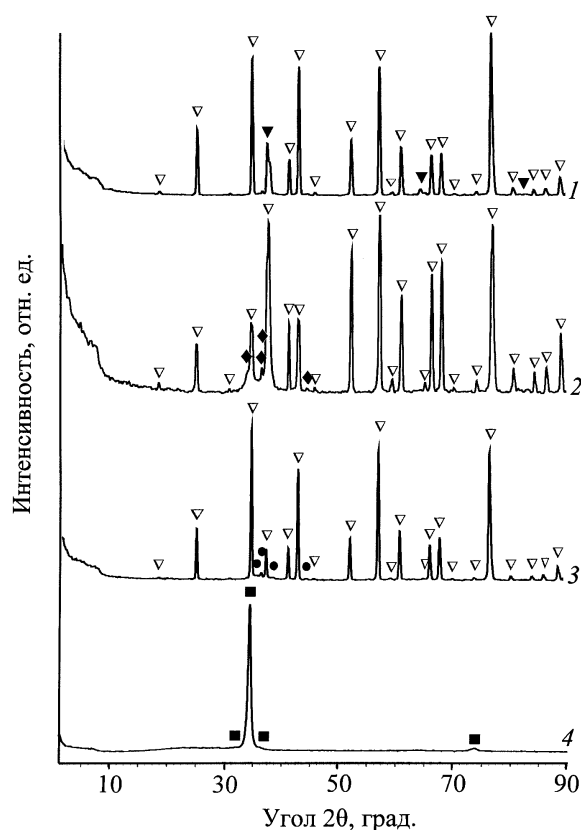
▼ – твердый раствор магния в алюминии;

◆ – гексагональная фаза $Al_{0,58}Mg_{0,42}$;

● – гексагональная фаза Al_3Mg_2 ;

■ – твердый раствор алюминия в магнии;

▽ – поликор (подложка)



Фазовый состав покрытия с содержанием магния с содержанием 57,6 ат. % (рисунок 1,3) и параметры решетки ($a=0,5899$ нм и $c=0,9541$ нм) достаточно точно соответствуют известной фазе Al_3Mg_2 (карточка ASTM №44-1154). Но из того же источника известно, что температура образования этой фазы составляет $460^{\circ}C$. Таким образом, в данном случае также наблюдается подпороговый механизм образования интерметаллида при пониженных температурах.

Покрытие с содержанием магния 78,6 ат.% (рисунок 1,4) представляет собой твердый раствор алюминия в магнии с запрещенной согласно известной фазовой диаграмме концентрацией магния. Покрытие сильно текстурировано в плоскости (002) кристаллической решетки магния, принадлежащей к гексагональной сингонии. Данный факт хорошо коррелирует с известным правилом кристаллизации металлов из паровой фазы, согласно которому кристаллизация идет в направлении наиболее плотных упаковок атомов.

Области существования твердых растворов и интерметаллических соединений нанесены (рисунок 2) на равновесную диаграмму состояния алюминий-магний [1] в концентрационных границах полученных нами систем. При этом соединение $Al_{0,58}Mg_{0,42}$ отнесено к области гомогенности Al_3Mg_2 . Совершенно очевидно, что концентрационные границы фаз на диаграмме, равно как и температурные, не являются окончательными и требуют дополнительных исследований.

Таким образом, покрытия, полученные соосаждением ультрадисперсных частиц расплывенных в плазме низкого давления металлов в системе, допускающей существование промежуточных фаз и имеющей ограниченную взаимную растворимость

компонентов, показывают возможность создания твердых растворов с значительно большим уровнем растворимости, а также возможность низкотемпературного синтеза интерметаллидов.

Увеличение взаимной растворимости металлов в этом случае объясняется с позиции представления о термофлуктуационном плавлении [3-6], в соответствии с которым существование малой частицы в квазижидком состоянии ограничено некоторым максимальным размером, при превышении которого условия термофлуктуирования исключаются. Увеличение размера частицы до критического приведет к кристаллизации и образованию твердой фазы.

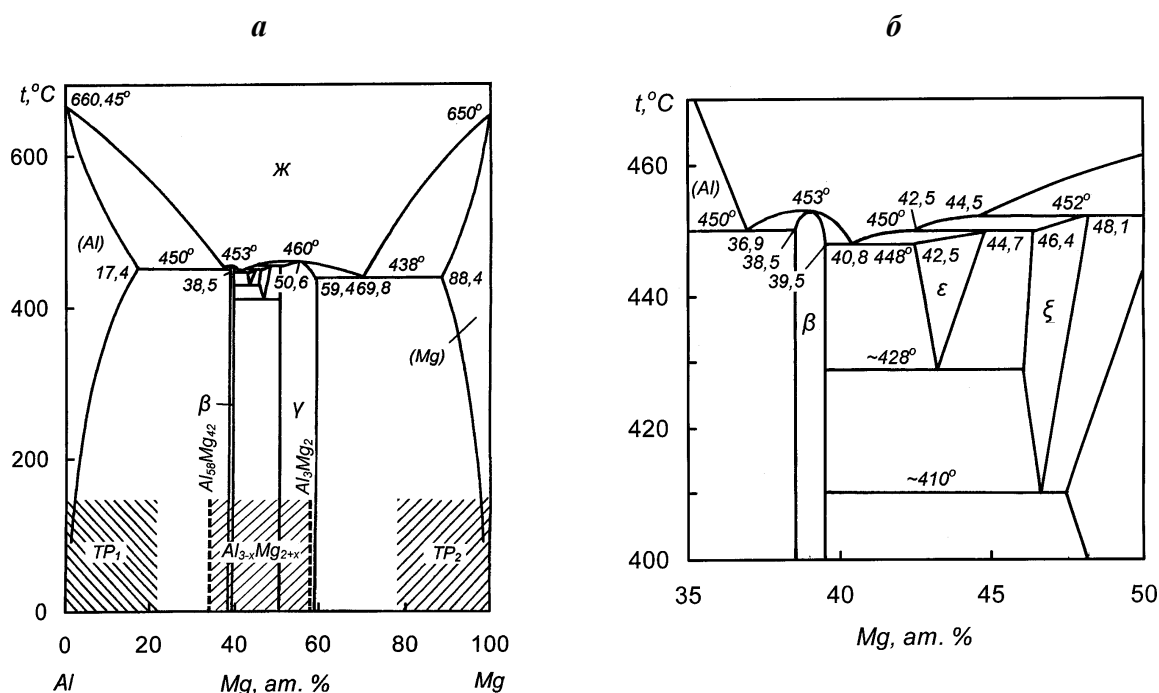


Рисунок 2 – Диаграмма состояния системы алюминий-магний (а) и фрагмент (б) области существования интерметаллических соединений в увеличенном масштабе

При слиянии разноименных металлов, находящихся в квазижидком состоянии в малые капли, размер которых менее критического, будет происходить образование жидкого раствора. Достижение критического размера приведет к его кристаллизации. Но в связи с тем, что растворимость металлов в жидкой фазе часто неограничена, будет кристаллизоваться твердый раствор высокой концентрации, значительно пересыщенный относительно приведенного на равновесных фазовых диаграммах, полученных плавлением компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Диаграммы состояния двойных металлических систем / Под ред. Н. П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – Т. 1. – 992 с.
- 2 Тулеушев Ю.Ж., Володин В.Н., Жаканбаев Е.А. Наноразмернолегированные медью покрытия из бета-тантала: получение, структура и свойства // ФММ. – 2013. – Т. 114, № 7. – С. 625-632.
- 3 Петров Ю.И. Физика малых частиц. – М.: Наука, 1982. – 359 с.
- 4 Морохов И.Д., Трусов Л.И., Лаповок В.Н. Физические явления в ультрадисперсных средах. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 224 с.
- 5 Скрипов В.П., Коверда В.П. Спонтанная кристаллизация переохлажденных жидкостей. – М.: Наука, 1984. – 232 с.
- 6 Родунер Э. Размерные эффекты в наноматериалах. – М.: Техносфера, 2010. – 350 с.

REFERENCES

- 1 Diagrammy sostojanija dvojnyh metallicheskih sistem / Pod red. N. P. Ljakisheva. – M.: Mashinostroenie, 1996. – T. 1. – 992 s.
- 2 Tuleushev Ju.Zh., Volodin V.N., Zhakanbaev E.A. Nanorazmernolegirovannye me-d'ju pokrytija iz beta-tantala: poluchenie, struktura i svojstva // FMM. – 2013. – T. 114, № 7. – S. 625-632.
- 3 Petrov Ju.I. Fizika malyh chastic. – M.: Nauka, 1982. – 359 s.
- 4 Morohov I.D., Trusov L.I., Lapovok V.N. Fizicheskie javlenija v ul'tradispers-nyh sredah. – M.: Jenergoatomizdat, 1984. – 224 s.
- 5 Skripov V.P., Koverda V.P. Spontannaja kristallizacija pereohlazhdennyh zhid-kostej. – M.: Nauka, 1984. – 232 s.
- 6 Roduner Je. Razmernye jeffekty v nanomaterialah. – M.: Tehnosfera, 2010. – 350 s.

Резюме

В. Н. Володин, Ю. Ж. Төлеушев, Е.А. Жақанбаев

(Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан Республикасы)

АЛЮМИНИЙ МЕН МАГНИЙ УЛЬТРАДИСПЕРСТІК БӨЛШЕКТЕРІН БІРГЕ ТҰНДЫРУМЕН

АЛЫНҒАН ЖАБЫНДАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ

Қыздырылмайтын төсемге төменгі қысымды плазмада тозаңдатылған алюминий мен магний ультра-дисперстік бөлшектерін бірге тұндыру нәтижесінде қорытпа жабындар алынды, олардың құрылымын зерттеу кезінде қатты ерітінділер болуының концентрациялық шекарасының едәуір кеңеюі белгілі болды: алюми-нийдегі магнийдікі 21,9% Al – дейін және де Al_3Mg_2 металаралық қосылысының гомогендік аймағы, фазалар торының параметрлері анықталды. Фазалардың болу өрісінің кеңею себебі өлшемдік фактордың болуы.

Тірек сөздер: алюминий, магний, жабын, концентрация, қатты ерітінді, интерметалдық қосылыс, кристал-дық тор.

Summary

V. N. Volodin, Yu. Zh. Tuleushev, Y. A. Zhakanbaev

(Institute of nuclear physics, Almaty, Republic of Kazakhstan)

STRUCTURE OF THE COATING PRODUCED BY CO-PRECIPITATION

ULTRAFINE PARTICLES OF ALUMINUM AND MAGNESIUM

As a result, co-deposition of ultrafine particles of aluminum and magnesium, sputtered in low-pressure plasma, obtained on unheated substrate alloy coating to investigate the structure of which found a significant expansion of the boundaries of existence of the concentration of solid

solutions: magnesium in aluminum up to 21.9 at. % Mg and aluminum magnesium to 21.4 at. % Al, as well as the homogeneity of the intermetallic compound Al_3Mg_2 , the parameters of the phase grating. The reason for the existence of a field extension phase is the size factor.

Keywords: aluminum, magnesium, coating concentration, solid solution, intermetallic compound, the crystalline lattice.

Поступила 2.09.2013г.