

С.К. Ережепова, А.К. Жубаев, А.А. Карасаева  
АРУ им.К.Жубанова (Актобе, Казахстан)

## ЯГР ИССЛЕДОВАНИЕ НА ЯДРАХ $^{119}\text{Sn}$ СЛОИСТОЙ СИСТЕМЫ SN-FE

При влиянии значительных температур на покрытия инициируются процессы, обусловленные взаимной диффузией компонентов покрытия также использованного материала основы. [1-2]. В данном случае в приповерхностных слоях выявляются все фазы этой бинарной системы. Термодинамический подход [3] с целью решения проблемы химической сопоставимости жаростойких поверхностных слоев с жароустойчивыми сплавами предполагает установление состава и фазово-структурных состояний для подложки и покрытия, из-за чего обеспечивается отсутствие градиентов химических потенциалов для всех частей сплава при данной температуре. В этом случае, покрытие и основа пребывают в равновесном состоянии и обладают различными функциональными качествами.

Бинарная система Fe-Sn характеризуется наличием в диаграмме состояния с повышением температуры участков существования твердого раствора олова в железе  $\alpha\text{-Fe(Sn)}$  с разными интерметаллическими соединениями [4]. Поэтому система Fe-Sn считается одной из немногих систем, которую допускается использовать как модельную с целью получения термически устойчивого покрытия, состоящего из интерметаллида на подложке, представляющего собой твердый раствор.

В работе методами мессбауэровской спектроскопии на ядрах  $^{119}\text{Sn}$  были проведены исследования термически индуцированных процессов фазообразования в двухслойных системах Sn-Fe.

На одну из сторон специально подготовленных фольг  $\alpha\text{-Fe}$  ( $\approx 8$  мкм) методом магнетронного распыления были нанесены слои олова ( $\approx 4$  мкм). Толщины слоёв подбирались так, чтобы средняя по всему объему образца концентрация атомов олова находилась в двухфазной области фазовой диаграммы, которая состоит из раствора  $\alpha\text{-Fe(Sn)}$  и интерметаллида. Температура термических отжигов ( $T_{\text{отж}}=650^\circ\text{C}$ ) была выбрана, опираясь на результаты исследований [5] слоистой системы, подвергавшейся изохронному термическому отжигу в широком интервале температур. В работе после каждого отжига снимались мессбауэровские спектры ядер  $^{119}\text{Sn}$  в геометрии «на поглощение» при комнатной температуре. Обработка экспериментальных мессбауэровских спектров проводилась методом восстановления функций распределения сверхтонких параметров и методом модельной расшифровки, реализованных в программном комплексе MSTools [6].

Были проведены исследования данной слоистой системы с помощью мессбауэровской спектроскопии на ядрах  $^{119}\text{Sn}$  (рис.1). Видно, что при нанесении покрытия любые диффузионные процессы были исключены и мессбауэровский спектр двухслойного образца представляет собой синглетную линию от ядер  $^{119}\text{Sn}$  в  $\beta\text{-Sn}$ . Уже после первого отжига в спектре наблюдаются существенные

изменения, которые происходят вплоть до отжига в течение 3 ч. Увеличение продолжительности термической обработки не повлияли на вид экспериментального спектра.

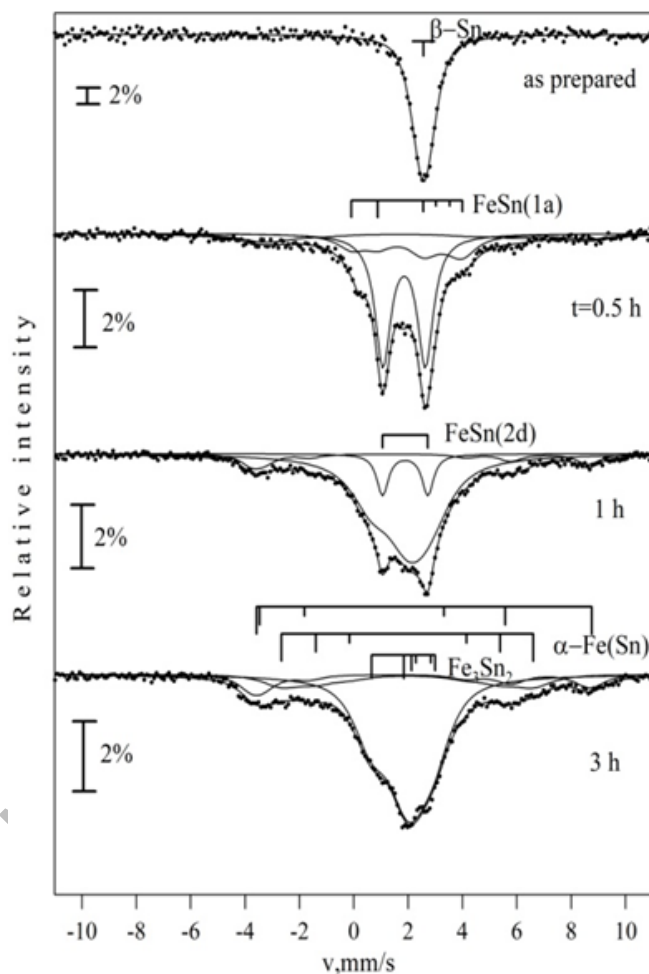


Рисунок 1. Мёссбауэровские спектры ядер  $^{119}\text{Sn}$  а также результат восстановления функций распределения эффективного магнитного поля  $H_n$  после последовательных изотермических отжигов.

В работе [7] приведены результаты мессбауэровских исследований на ядрах  $^{119m}\text{Sn}$  антиферромагнитного соединения FeSn при температурах от 77 К до температуры магнитного перехода. Заселенность атомами Sn 1(a) и 2(d) позиций соотносится как 1:2. Мессбауэровские параметры при комнатной температуре:  $\delta=1.97\pm 0.05$  мм/с,  $2\varepsilon=1.72\pm 0.10$  мм/с и  $\delta=2.14\pm 0.05$  мм/с,  $2\varepsilon=-2.82\pm 0.10$  мм/с,  $H_n=14.4\pm 1.5$  кЭ. Интерметаллическое соединение  $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$  исследовано методом [8] мессбауэровской спектроскопии на ядрах  $^{119m}\text{Sn}$  между 5 и 670 К. Установлено, что при комнатной температуре данный интерметаллид имеет параметры:  $\delta_1=1.92$  мм/с,  $2\varepsilon_1=1.62$  мм/с,  $H_1=52$  кЭ;  $\delta_2=1.79$  мм/с,  $2\varepsilon_2=-1.04$  мм/с,  $H_2=15.5$  кЭ.

На рис.1 показаны положения линий спектров для FeSn и  $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$ . Также представлены положения линий спектров для твердого раствора  $\alpha\text{-Fe(Sn)}$  [9].

Видно, что вновь образованные фазы можно идентифицировать как интерметаллидные соединения  $\text{FeSn}$  и  $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$  и твердый раствор  $\alpha\text{-Fe}(\text{Sn})$ .

На основании результатов обработки мёссбауэровских спектров были получены зависимости относительных интенсивностей парциальных спектров образцов различных фаз от времени отжига (рис.2). Для достаточно тонких образцов интенсивность спектра пропорционально числу мёссбауэровских ядер. Тогда из предположения равенства вероятности эффекта Мёссбауэра для различных фаз следует, что на рис.2 представлена зависимость относительного содержания фаз в атомных единицах олова.

На рис.2 видно, что после 0.5 ч отжига относительное содержание интерметаллидов  $\text{FeSn}$  и  $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$  составляет  $\approx 7\%$  и  $\approx 17\%$ , соответственно. Последующие отжиги приводят к распаду интерметаллида  $\text{FeSn}$  и увеличению относительного вклада второго интерметаллида.

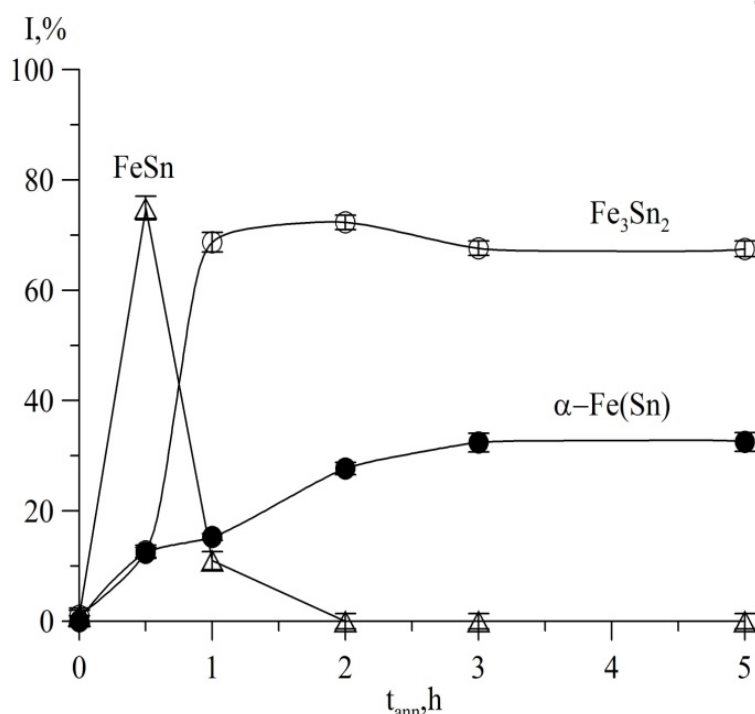


Рисунок 2. Зависимости относительных интенсивностей  $I$  парциальных мёссбауэровских спектров ядер  $^{119}\text{Sn}$  в образующихся фазах от времени термического отжига при  $650^\circ\text{C}$

В дальнейшем вклады интерметаллида  $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$  и твердого раствора  $\alpha\text{-Fe}(\text{Sn})$  стабилизируются. Данная тенденция (появление с последующим распадом интерметаллида  $\text{Fe-Sn}$  и стабилизация  $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$  с  $\alpha\text{-Fe}(\text{Sn})$ ) имеет место для зависимостей относительных интенсивностей  $I$  парциальных мёссбауэровских спектров ядер  $^{119}\text{Sn}$  (рис.2).

Таким образом, после изотермических отжигов слоистой системы  $\text{Sn}(4 \text{ мкм})\text{-Fe}(8 \text{ мкм})$  при  $650^\circ\text{C}$  вначале в результате взаимной диффузии имеет место растворение атомов олова в матрице железа и образование интерметаллических соединений  $\text{FeSn}$  и  $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$ , а также твердого раствора

атомов олова  $\alpha$ -Fe(Sn). С увеличением продолжительности термообработки наблюдается растворение фазы FeSn и стабилизация образовавшейся соединения Fe<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub>. Показана возможность получения термически стабильной пространственно-неоднородной слоистой системы Fe<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub>- $\alpha$ -Fe(Sn).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов / И.И. Новиков – М., Metallurgy, 1986. – 480 с.
2. Коломыцев П.Т. Высокотемпературные защитные покрытия для никелевых сплавов / П.Т. Колмыцев – М., Metallurgy, 1991. – 240 с.
3. Кадыржанов К.К., Туркебаев Т.Э., Удовский А.Л. Физические основы ионных технологий создания стабильных многослойных металлических материалов / К.К. Кадыржанов – Алматы, 2001. – 315 с.
4. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: в 3 т, Т.2 / Под общ. ред. Н.П.Лякишева. М., Машиностроение, 1997. – 1024 с.
5. Zhubaev A.K. Study of thermal stabilization of an intermetallic compound- $\alpha$ -Fe(Sn) solid solution layered system / A.K. Zhubaev, V.S. Rusakov, K.K. Kadyrzhanov // The Physics of Metals and Metallography. – 2010. Vol. 109, No.5. – pp. 461–468.
6. Русаков В.С. Мёссбауэровская спектроскопия локально неоднородных систем / В.С. Русаков – Алматы, 2000. – 431 с.
7. Kulshreshtha S.K., Raj P. // J. Phys. F: Metal Phys. 1981. Vol.11. P.281.
8. Le Caer G. et al, J. Phys. F: Met. Phys., 1979, vol.9, No 9, p.1905.
9. Vincze I. and Aldred A.T., Phys. Rev., 1974, vol.9, p.3845.

научно-исследовательского центра  
интернет-портала  
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
26-27 ноября 2020 года