



УДК 621.745.35

## НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ОЛОВЯННО–СВИНЦОВЫХ СПЛАВОВ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

А. В. СТЕЦЕНКО, МОУВО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь, пр. Мира, 43.

E-mail: stetsenko.52@bk.ru.

Основными структурными элементами расплавов оловянно-свинцовых сплавов являются элементарные нанокристаллы олова, свинца и их свободные атомы. Основные кристаллизующиеся фазы этих сплавов – микрокристаллы фаз (Sn) и (Pb). Процессы их кристаллизации наноструктурные. Сначала из элементарных нанокристаллов и свободных атомов образуются структурообразующие нанокристаллы фаз. Затем из них формируются центры кристаллизации микрокристаллов фаз. Из них, структурообразующих нанокристаллов фаз и свободных атомов свинца и олова образуются микрокристаллы фаз (Sn) и (Pb).

**Ключевые слова.** Оловянно-свинцовые сплавы, кристаллизация, наноструктурирование, центры кристаллизации, нанокристаллы, микрокристаллы.

## NANOSTRUCTURING OF TIN-LEAD ALLOYS DURING CRYSTALLIZATION

A. V. STETSENKO, Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus, 43, Mira ave.

E-mail: stetsenko.52@bk.ru.

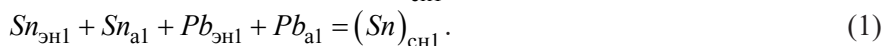
The main structural elements of tin-lead alloy melts are elementary nanocrystals of tin, lead and their free atoms. The main crystallizing phases of these alloys are microcrystals of the (Sn) and (Pb) phases. Their crystallization processes are nanostructured. First, structure-forming nanocrystals of phases are formed from elementary nanocrystals and free atoms. Then the centers of crystallization of microcrystals of phases are formed from them. From them, the structure-forming nanocrystals of phases and free atoms of lead and tin, microcrystals of phases (Sn) and (Pb) are formed.

**Keywords.** Tin-lead alloys, crystallization, nanostructuring, crystallization centers, nanocrystals, microcrystals.

Основными структурными составляющими при кристаллизации оловянно-свинцовых сплавов (ОСС) являются: первичные микрокристаллы фазы  $(Sn) - (Sn)_{МК1}$ ; эвтектика, состоящая из микрокристаллов фазы  $(Sn) - (Sn)_{МК2}$  и микрокристаллов фазы  $(Pb) - (Pb)_{МК1}$ ; первичные микрокристаллы фазы  $(Pb) - (Pb)_{МК2}$  [1].

Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в условиях промышленной плавки ОСС  $(Sn)_{МК1}$  распадаются на элементарные нанокристаллы олова  $(Sn_{ЭН1})$  и свинца  $(Pb_{ЭН1})$ , свободные атомы олова  $(Sn_{a1})$  и свинца  $(Pb_{a1})$  [2].

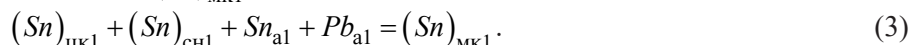
Процесс кристаллизации  $(Sn)_{МК1}$  является наноструктурным и происходит следующим образом [3]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы  $(Sn)_{СН1}$  по реакции:



Затем образуются центры кристаллизации  $(Sn)_{ЦК1}$ :



Заканчивается процесс кристаллизации  $(Sn)_{МК1}$  реакцией:



Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в условиях промышленной плавки ОСС  $(Sn)_{МК2}$  распадаются на элементарные нанокристаллы олова  $(Sn_{ЭН2})$  и свинца  $(Pb_{ЭН2})$ , свободные атомы олова  $(Sn_{a2})$  и свинца  $(Pb_{a2})$  [2].

Процесс кристаллизации  $(Sn)_{МК2}$  наноструктурный, происходит следующим образом [3]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы  $(Sn)_{СН2}$  по реакции:

$$Sn_{\text{ЭН2}} + Sn_{\text{а2}} + Pb_{\text{ЭН2}} + Pb_{\text{а2}} = (Sn)_{\text{СН2}} \cdot \quad (4)$$

Затем образуются центры кристаллизации  $(Sn)_{\text{ИК2}}$ :

$$(Sn)_{\text{СН2}} + Sn_{\text{а2}} + Pb_{\text{а2}} = (Sn)_{\text{ИК2}} \cdot \quad (5)$$

Заканчивается процесс кристаллизации  $(Sn)_{\text{МК2}}$  реакцией:

$$(Sn)_{\text{ИК2}} + (Sn)_{\text{СН2}} + Sn_{\text{а2}} + Pb_{\text{а2}} = (Sn)_{\text{МК2}} \cdot \quad (6)$$

Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в условиях промышленной плавки ОСС  $(Pb)_{\text{МК1}}$  распадаются на элементарные нанокристаллы свинца  $(Pb_{\text{ЭН3}})$  и олова  $(Sn_{\text{ЭН3}})$ , свободные атомы свинца  $(Pb_{\text{а3}})$  и олова  $(Sn_{\text{а3}})$  [2].

Процесс кристаллизации  $(Pb)_{\text{МК1}}$  является наноструктурным и происходит следующим образом [3]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы  $(Pb)_{\text{СН1}}$  по реакции:

$$Pb_{\text{ЭН3}} + Pb_{\text{а3}} + Sn_{\text{ЭН3}} + Sn_{\text{а3}} = (Pb)_{\text{СН1}} \cdot \quad (7)$$

Затем образуются центры кристаллизации  $(Pb)_{\text{ИК1}}$ :

$$(Pb)_{\text{СН1}} + Pb_{\text{а3}} + Sn_{\text{а3}} = (Pb)_{\text{ИК1}} \cdot \quad (8)$$

Заканчивается процесс кристаллизации  $(Pb)_{\text{МК1}}$  реакцией:

$$(Pb)_{\text{ИК1}} + (Pb)_{\text{СН1}} + Pb_{\text{а3}} + Sn_{\text{а3}} = (Pb)_{\text{МК1}} \cdot \quad (9)$$

Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в условиях промышленной плавки ОСС  $(Pb)_{\text{МК2}}$  распадаются на элементарные нанокристаллы свинца  $(Pb_{\text{ЭН4}})$  и олова  $(Sn_{\text{ЭН4}})$ , свободные атомы свинца  $(Pb_{\text{а4}})$  и олова  $(Sn_{\text{а4}})$  [2].

Процесс кристаллизации  $(Pb)_{\text{МК2}}$  является наноструктурным и происходит следующим образом [3]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы  $(Pb)_{\text{СН2}}$  по реакции:

$$Pb_{\text{ЭН4}} + Pb_{\text{а4}} + Sn_{\text{ЭН4}} + Sn_{\text{а4}} = (Pb)_{\text{СН2}} \cdot \quad (10)$$

Затем образуются центры кристаллизации  $(Pb)_{\text{ИК2}}$ :

$$(Pb)_{\text{СН2}} + Pb_{\text{а4}} + Sn_{\text{а4}} = (Pb)_{\text{ИК2}} \cdot \quad (11)$$

Заканчивается процесс кристаллизации  $(Pb)_{\text{МК2}}$  реакцией:

$$(Pb)_{\text{ИК2}} + (Pb)_{\text{СН2}} + Pb_{\text{а4}} + Sn_{\text{а4}} = (Pb)_{\text{МК2}} \cdot \quad (12)$$

### ЛИТЕРАТУРА

1. Производство отливок из сплавов цветных металлов: учебник / А. В. Курдюмов [и др.]. – М.: Изд. дом МИСиС, 2011. – 615 с.
2. **Марукович, Е. И.** Наноструктурная теория металлических расплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // *Литье и металлургия*. – 2020. – № 3. – С. 7–9.
3. **Марукович, Е. И.** Наноструктурная кристаллизация литейных сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко, А. В. Стеценко // *Литье и металлургия*. – 2022. – № 3. – С. 13–19.

### REFERENCES

1. **Kurdyumov A. V., Belov V. D., Pikunov M. V., Chursin V. M., Gerasimov S. P., Moiseev V. S.** *Proizvodstvo otlivok iz splavov cvetnyh metallov* [Production of castings from non-ferrous metal alloys: textbook]. Moscow, MISiS Publ., 2011, 615 p.
2. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu.** Nanostrukturnaya teoriya metallicheskih rasplavov [Nanostructural theory of metal melts]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 3, pp. 7–9.
3. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu., Stetsenko A. V.** Nanostrukturnaya kristallizaciya litejnyh splavov [Nanostructured crystallization of casting alloys]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 3, pp. 13–19.