



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-25-27>
УДК 621.745.35

Поступила 24.09.2024
Received 24.09.2024

НАНОСТРУКТУРНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЦИНКОВЫХ СПЛАВОВ

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ю. СТЕЦЕНКО, Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь, ул. Я. Коласа, 24. E-mail: stetsenko.52@bk.ru

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

Основными структурными элементами расплавов промышленных цинковых сплавов являются элементарные нанокристаллы цинка, алюминия, меди и их свободные атомы. Кристаллизующимися фазами этих сплавов служат микрокристаллы α -фаз и η -фазы. Процессы их кристаллизации являются наноструктурными. Сначала из элементарных нанокристаллов и свободных атомов образуются структурообразующие нанокристаллы фаз. Затем из них формируются центры кристаллизации микрокристаллов фаз. Их них, структурообразующих нанокристаллов фаз и свободных атомов цинка, алюминия и меди образуются микрокристаллы α -фаз и η -фазы.

Ключевые слова. Цинковые сплавы, кристаллизация, наноструктурные процессы, центры кристаллизации, нанокристаллы, микрокристаллы фаз.

Для цитирования. Марукович, Е.И. Наноструктурные процессы при кристаллизации цинковых сплавов / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко, А.В. Стеценко // Литье и металлургия. 2024. № 4. С. 25–27. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-25-27>.

NANOSTRUCTURAL PROCESSES IN THE CRYSTALLIZATION OF ZINC ALLOYS

E. I. MARUKOVICH, V. Yu. STETSENKO, Association of Foundrymen and Metallurgists of Belarus, Minsk, Belarus, 24, Ya. Kolas str. E-mail: stetsenko.52@bk.ru

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

The main structural elements of melts of industrial zinc alloys are elementary nanocrystals of zinc, aluminum, copper and their free atoms. The main crystallizing phases of these alloys are microcrystals of α -phases and η -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. Among them, structure-forming nanocrystals of phases and free atoms of zinc, aluminum and copper, microcrystals of α -phases and η -phases are formed.

Keywords. Zinc alloys, crystallization, nanostructural processes, crystallization centers, nanocrystals, microcrystals of phases.

For citation. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu., Stetsenko A. V. Nanostructural processes in the crystallization of zinc alloys. Foundry production and metallurgy, 2024, no. 4, pp. 25–27. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-25-27>.

Наибольшее промышленное применение получили цинково-алюминиевые сплавы (ЦАС), содержащие до 5% алюминия, и цинково-алюминиево-медные сплавы (ЦАМС), содержащие до 5% алюминия и до 1,25% меди [1].

Основными структурными составляющими при кристаллизации промышленных ЦАС являются: первичные микрокристаллы α -фазы ($\alpha_{\text{МК1}}$); эвтектика, состоящая из микрокристаллов α -фазы ($\alpha_{\text{МК2}}$) и α_1 -фазы ($\alpha_{\text{МК3}}$) [1].

Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в условиях промышленной плавки ЦАС $\alpha_{\text{МК1}}$ распадаются на элементарные нанокристаллы цинка ($\text{Zn}_{\text{ЭН1}}$) и алюминия ($\text{Al}_{\text{ЭН1}}$), свободные атомы цинка ($\text{Zn}_{\text{А1}}$) и алюминия ($\text{Al}_{\text{А1}}$) [2].

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



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

$$\alpha_{\text{CH1}} + \text{Zn}_{\text{a1}} + \text{Al}_{\text{a1}} = \alpha_{\text{ЦК1}} \cdot \quad (2)$$

Заканчивается процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК1}}$ реакцией:

$$\alpha_{\text{ЦК1}} + \alpha_{\text{CH1}} + \text{Zn}_{\text{a1}} + \text{Al}_{\text{a1}} = \alpha_{\text{МК1}} \cdot \quad (3)$$

Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в условиях промышленной плавки ЦАС $\alpha_{\text{МК2}}$ распадаются на элементарные нанокристаллы цинка ($\text{Zn}_{\text{ЭН2}}$) и алюминия ($\text{Al}_{\text{ЭН2}}$), свободные атомы цинка (Zn_{a2}) и алюминия (Al_{a2}) [2].

Процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК2}}$ является наноструктурным и происходит следующим образом [3]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы (α_{CH2}):

$$\text{Zn}_{\text{ЭН2}} + \text{Zn}_{\text{a2}} + \text{Al}_{\text{ЭН2}} + \text{Al}_{\text{a2}} = \alpha_{\text{CH2}} \cdot \quad (4)$$

Затем образуются центры кристаллизации ($\alpha_{\text{ЦК2}}$):

$$\alpha_{\text{CH2}} + \text{Zn}_{\text{a2}} + \text{Al}_{\text{a2}} = \alpha_{\text{ЦК2}} \cdot \quad (5)$$

Заканчивается процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК2}}$ реакцией:

$$\alpha_{\text{ЦК2}} + \alpha_{\text{CH2}} + \text{Zn}_{\text{a2}} + \text{Al}_{\text{a2}} = \alpha_{\text{МК2}} \cdot \quad (6)$$

Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в условиях промышленной плавки ЦАС $\alpha_{\text{МК3}}$ распадаются на элементарные нанокристаллы цинка ($\text{Zn}_{\text{ЭН3}}$) и алюминия ($\text{Al}_{\text{ЭН3}}$), свободные атомы цинка (Zn_{a3}) и алюминия (Al_{a3}) [2].

Процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК3}}$ является наноструктурным и происходит следующим образом [3]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы (α_{CH3}):

$$\text{Zn}_{\text{ЭН3}} + \text{Zn}_{\text{a3}} + \text{Al}_{\text{ЭН3}} + \text{Al}_{\text{a3}} = \alpha_{\text{CH3}} \cdot \quad (7)$$

Затем образуются центры кристаллизации ($\alpha_{\text{ЦК3}}$):

$$\alpha_{\text{CH3}} + \text{Zn}_{\text{a3}} + \text{Al}_{\text{a3}} = \alpha_{\text{ЦК3}} \cdot \quad (8)$$

Заканчивается процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК3}}$ реакцией:

$$\alpha_{\text{ЦК3}} + \alpha_{\text{CH3}} + \text{Zn}_{\text{a3}} + \text{Al}_{\text{a3}} = \alpha_{\text{МК3}} \cdot \quad (9)$$

Основными структурными составляющими при кристаллизации промышленных ЦАМС являются: первичные микрокристаллы α -фазы ($\alpha_{\text{МК4}}$); эвтектика, состоящая из микрокристаллов α -фазы ($\alpha_{\text{МК5}}$) и η -фазы ($\eta_{\text{МК}}$) [1].

Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в условиях промышленной плавки ЦАМС $\alpha_{\text{МК4}}$ распадаются на элементарные нанокристаллы цинка ($\text{Zn}_{\text{ЭН4}}$), алюминия ($\text{Al}_{\text{ЭН4}}$) и меди ($\text{Cu}_{\text{ЭН1}}$) свободные атомы цинка (Zn_{a4}), алюминия (Al_{a4}) и меди (Cu_{a1}) [2].

Процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК4}}$ является наноструктурным и происходит следующим образом [3]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы (α_{CH4}):

$$\text{Zn}_{\text{ЭН4}} + \text{Zn}_{\text{a4}} + \text{Al}_{\text{ЭН4}} + \text{Al}_{\text{a4}} + \text{Cu}_{\text{ЭН1}} + \text{Cu}_{\text{a1}} = \alpha_{\text{CH4}} \cdot \quad (10)$$

Затем образуются центры кристаллизации ($\alpha_{\text{ЦК4}}$):

$$\alpha_{\text{CH4}} + \text{Zn}_{\text{a4}} + \text{Al}_{\text{a4}} + \text{Cu}_{\text{a1}} = \alpha_{\text{ЦК4}} \cdot \quad (11)$$

Заканчивается процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК4}}$ реакцией:

$$\alpha_{\text{ЦК4}} + \alpha_{\text{CH4}} + \text{Zn}_{\text{a4}} + \text{Al}_{\text{a4}} + \text{Cu}_{\text{a1}} = \alpha_{\text{МК4}} \cdot \quad (12)$$

Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в условиях промышленной плавки ЦАМС $\alpha_{\text{МК5}}$ распадаются на элементарные нанокристаллы цинка ($\text{Zn}_{\text{ЭН5}}$), алюминия ($\text{Al}_{\text{ЭН5}}$) и меди ($\text{Cu}_{\text{ЭН2}}$) свободные атомы цинка (Zn_{a5}), алюминия (Al_{a5}) и меди (Cu_{a2}) [2].

Процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК5}}$ является наноструктурным и происходит следующим образом [3]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы (α_{CH5}):

$$\text{Zn}_{\text{ЭН5}} + \text{Zn}_{\text{a5}} + \text{Al}_{\text{ЭН5}} + \text{Al}_{\text{a5}} + \text{Cu}_{\text{ЭН2}} + \text{Cu}_{\text{a2}} = \alpha_{\text{CH5}} \cdot \quad (13)$$

Затем образуются центры кристаллизации ($\alpha_{\text{ЦК5}}$):

$$\alpha_{\text{CH5}} + \text{Zn}_{\text{a5}} + \text{Al}_{\text{a5}} + \text{Cu}_{\text{a2}} = \alpha_{\text{ЦК5}} \cdot \quad (14)$$

Заканчивается процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК5}}$ реакцией:

$$\alpha_{\text{ЦК5}} + \alpha_{\text{CH5}} + \text{Zn}_{\text{a5}} + \text{Al}_{\text{a5}} + \text{Cu}_{\text{a2}} = \alpha_{\text{МК5}} \cdot \quad (15)$$

Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в условиях промышленной плавки ЦАМС $\eta_{\text{МК}}$ распадаются на элементарные нанокристаллы цинка ($\text{Zn}_{\text{ЭН6}}$), алюминия ($\text{Al}_{\text{ЭН6}}$) и меди ($\text{Cu}_{\text{ЭН3}}$), свободные атомы цинка ($\text{Zn}_{\text{а6}}$), алюминия ($\text{Al}_{\text{а6}}$) и меди ($\text{Cu}_{\text{а3}}$) [2].

Процесс кристаллизации $\eta_{\text{МК}}$ является наноструктурным и происходит следующим образом [3]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы ($\eta_{\text{СН}}$):



Затем образуются центры кристаллизации ($\eta_{\text{ЦК}}$):



Заканчивается процесс кристаллизации $\eta_{\text{МК}}$ реакцией:



Таким образом, кристаллизация промышленных цинковых сплавов осуществляется наноструктурными процессами, в которых основную роль играют элементарные нанокристаллы цинка, алюминия и меди, структурообразующие нанокристаллы α -фаз и η -фазы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Производство отливок из сплавов цветных металлов: учебник / А. В. Курдюмов [и др.] – М.: 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.** *Proizvodstvo otlivok iz splavov cvetnykh metallov: uchebnik* [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 kristallizatsiya litejnykh splavov [Nanostructured crystallization of casting alloys]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 3, pp. 13–19.