



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-2-29-31>  
УДК 621.745.35

Поступила 20.03.2024  
Received 20.03.2024

## СТРУКТУРНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ПЕРЕПЛАВКЕ ЛИТЕЙНЫХ БИНАРНЫХ 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

*Разработан наноструктурный механизм структурной устойчивости при переплавке литейных бинарных сплавов. Этот механизм определяется устойчивостью центров кристаллизации микрокристаллов  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз. Показано, что эта устойчивость зависит от концентрации адсорбированных атомов водорода и кислорода. Чем выше эти концентрации, тем менее устойчивы центры кристаллизации микрокристаллов  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз в расплавах литейных бинарных сплавов и наоборот. При увеличении перегревов и (или) времен выдержки расплавов литейных бинарных сплавов в них повышаются концентрации адсорбированных атомов водорода и кислорода. В результате снижается структурная устойчивость при переплавке литейных бинарных сплавов.*

**Ключевые слова.** Структурная устойчивость, бинарные сплавы, переплавка, нанокристаллы, центры кристаллизации, адсорбция.

**Для цитирования.** Марукович, Е. И. Структурная устойчивость при переплавке литейных бинарных сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко, А. В. Стеценко // Литье и металлургия. 2024. № 2. С. 29–31. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-2-29-31>.

## STRUCTURAL STABILITY DURING REMELTING OF FOUNDRY BINARY 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.

*A nanostructural mechanism of structural stability during remelting of foundry binary alloys has been developed. This mechanism is determined by the stability of the centers of crystallization of microcrystals of  $\alpha$ -phases and  $\beta$ -phases. It is shown that this stability depends on the concentration of adsorbed hydrogen and oxygen atoms. The higher these concentrations, the less stable the centers of crystallization of  $\alpha$ -phase and  $\beta$ -phase microcrystals in melts of foundry binary alloys, and vice versa. With an increase in overheating and (or) the holding time of melts of foundry binary alloys, the concentrations of adsorbed hydrogen and oxygen atoms in them increase. As a result, structural stability decreases during the remelting of foundry binary alloys.*

**Keywords.** Structural stability, binary alloys, remelting, nanocrystals, crystallization centers, adsorption.

**For citation.** Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu., Stetsenko A. V. Structural stability during remelting of foundry binary alloys. Foundry production and metallurgy, 2024, no. 2, pp. 29–31. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-2-29-31>.

При невысоких перегревах и (или) малых временах выдержки расплавов литейных сплавов наблюдается эффект структурной наследственности между получаемыми и шихтовыми переплавляемыми отливками [1, 2]. Эффективность структурной наследственности при литье сплавов определяется концентрацией центров кристаллизации, которые сохраняют стабильность при температурах выше температур ликвидуса [2, 3]. Эта стабильность определяет структурную устойчивость при переплавке литейных сплавов.

Будем рассматривать бинарные сплавы, состоящие из компонентов А и В. Бинарные литейные сплавы (БЛС) в основном кристаллизуются с образованием эвтектики. При этом основными структурными составляющими БЛС являются первичные микрокристаллы  $\alpha$ -фазы ( $\alpha_{\text{МКП}}$ ) и  $\beta$ -фазы ( $\beta_{\text{МКП}}$ ), эвтектические микрокристаллы  $\alpha$ -фазы ( $\alpha_{\text{МКЭ}}$ ) и  $\beta$ -фазы ( $\beta_{\text{МКЭ}}$ ).

При плавлении, больших перегревах и временах выдержки расплавов БЛС  $\alpha_{\text{МКП}}$  распадаются на элементарные нанокристаллы компонента А ( $A_{\text{ЭНП1}}$ ) и компонента В ( $B_{\text{ЭНП1}}$ ), свободные атомы компонента А ( $A_{\text{ан1}}$ ) и компонента В ( $B_{\text{ан1}}$ ) [4].

Процесс кристаллизации  $\alpha_{\text{МКП}}$  является наноструктурным и происходит следующим образом [5]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы ( $\alpha_{\text{СНП}}$ ) по реакции:



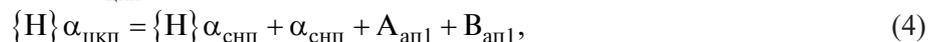
Затем образуются центры кристаллизации ( $\alpha_{\text{ЦКП}}$ ) по реакции:



Заканчивается процесс кристаллизации  $\alpha_{\text{МКП}}$  по реакции:



При невысоких перегревах и (или) малых временах выдержки расплавов БЛС  $\alpha_{\text{МКП}}$  распадаются в соответствии с реакцией, обратной (3). При увеличении перегревов и (или) времен выдержки расплавов БЛС в них повышаются концентрации атомов водорода и (или) кислорода [6]. Растворенные в расплавах БЛС атомы водорода и (или) кислорода адсорбируются  $\alpha_{\text{ЦКП}}$  до определенной, критической концентрации. При ее превышении происходит распад  $\alpha_{\text{ЦКП}}$  по эффекту Ребиндера. При этом если адсорбируются атомы водорода, то распад  $\alpha_{\text{ЦКП}}$  происходит по следующей реакции:



где  $\{H\}$  – адсорбированные атомы водорода.

Если адсорбируются атомы кислорода, то распад  $\alpha_{\text{ЦКП}}$  происходит по реакции:



где  $\{O\}$  – адсорбированные атомы кислорода.

При плавлении, больших перегревах и временах выдержки расплавов БЛС  $\alpha_{\text{МКЭ}}$  распадаются на элементарные нанокристаллы компонента А ( $A_{\text{ЭНЭ1}}$ ) и компонента В ( $B_{\text{ЭНЭ1}}$ ), свободные атомы компонента А ( $A_{\text{АЭ1}}$ ) и компонента В ( $B_{\text{АЭ1}}$ ) [4].

Процесс кристаллизации  $\alpha_{\text{МКЭ}}$  является наноструктурным и происходит следующим образом [5]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы ( $\alpha_{\text{СНЭ}}$ ) по реакции:



Затем образуются центры кристаллизации ( $\alpha_{\text{ЦКЭ}}$ ) по реакции:



Заканчивается процесс кристаллизации  $\alpha_{\text{МКЭ}}$  по реакции:



При невысоких перегревах и (или) малых временах выдержки расплавов БЛС  $\alpha_{\text{МКЭ}}$  распадаются в соответствии с реакцией, обратной (8). При увеличении перегревов и (или) времен выдержки расплавов БЛС в них повышаются концентрации атомарного водорода и (или) кислорода [6]. Растворенные в расплавах БЛС атомы водорода и (или) кислорода адсорбируются  $\alpha_{\text{ЦКЭ}}$  до определенной, критической концентрации. При ее превышении происходит распад  $\alpha_{\text{ЦКЭ}}$  по эффекту Ребиндера. При этом если адсорбируются атомы водорода, то распад  $\alpha_{\text{ЦКЭ}}$  происходит по реакции:



Если адсорбируются атомы кислорода, то распад  $\alpha_{\text{ЦКЭ}}$  происходит по реакции:



При плавлении, больших перегревах и временах выдержки расплавов БЛС  $\beta_{\text{МКЭ}}$  распадаются на элементарные нанокристаллы компонента А ( $A_{\text{ЭНЭ2}}$ ) и компонента В ( $B_{\text{ЭНЭ2}}$ ), свободные атомы компонента А ( $A_{\text{АЭ2}}$ ) и компонента В ( $B_{\text{АЭ2}}$ ) [4].

Процесс кристаллизации  $\beta_{\text{МКЭ}}$  является наноструктурным и происходит следующим образом [5]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы ( $\beta_{\text{СНЭ}}$ ) по реакции:



Затем образуются центры кристаллизации ( $\beta_{\text{ЦКЭ}}$ ) по реакции:



Заканчивается процесс кристаллизации  $\beta_{\text{МКЭ}}$  по реакции:



При невысоких перегревах и (или) малых временах выдержки расплавов БЛС  $\beta_{\text{МКЭ}}$  распадаются в соответствии с реакцией, обратной (13). При увеличении перегревов и (или) времен выдержки расплавов БЛС в них повышаются концентрации атомов водорода и (или) кислорода [6]. Растворенные в расплавах БЛС атомы водорода и (или) кислорода адсорбируются  $\beta_{\text{ЦКЭ}}$  до определенной, критической концентрации. При ее повышении происходит распад  $\beta_{\text{ЦКЭ}}$  по эффекту Ребиндера. При этом если адсорбируются атомы водорода, то распад  $\beta_{\text{ЦКЭ}}$  происходит по реакции:

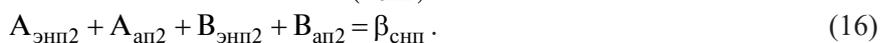


Если адсорбируются атомы кислорода, то распад  $\beta_{\text{ЦКЭ}}$  происходит по реакции:



При плавлении, больших перегревах и временах выдержки расплавов БЛС  $\beta_{\text{МКП}}$  распадаются на элементарные нанокристаллы компонента А ( $A_{\text{ЭНП2}}$ ) и компонента В ( $B_{\text{ЭНП2}}$ ), свободные атомы компонента А ( $A_{\text{ап2}}$ ) и компонента В ( $B_{\text{ап2}}$ ) [4].

Процесс кристаллизации  $\beta_{\text{МКП}}$  является наноструктурным и происходит следующим образом [5]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы ( $\beta_{\text{СНП}}$ ) по реакции:



Затем образуются центры кристаллизации ( $\beta_{\text{ЦКП}}$ ) по реакции:



Заканчивается процесс кристаллизации  $\beta_{\text{МКП}}$  по реакции:



При невысоких перегревах и (или) малых временах выдержки расплавов БЛС  $\beta_{\text{МКП}}$  распадаются в соответствии с реакцией, обратной (18). При увеличении перегревов и (или) времен выдержки расплавов БЛС в них повышаются концентрации атомов водорода и (или) кислорода [6]. Растворенные в расплавах БЛС атомы водорода и (или) кислорода адсорбируются  $\beta_{\text{ЦКП}}$  до определенной, критической концентрации. При ее превышении происходит распад  $\beta_{\text{ЦКП}}$  по эффекту Ребиндера. При этом если адсорбируются атомы водорода, то распад  $\beta_{\text{ЦКП}}$  происходит по реакции:



Если адсорбируются атомы кислорода, то распад  $\beta_{\text{ЦКП}}$  происходит по реакции:



Таким образом, структурная устойчивость при переплавке бинарных литейных сплавов определяется устойчивостью центров кристаллизации микрокристаллов  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз, которая зависит от концентрации адсорбированных атомов водорода и (или) кислорода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин, В. И. Наследственность в литых сплавах / В. И. Никитин, К. В. Никитин. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 476 с.
2. Марукович, Е. И. Модифицирование сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко. – Минск: Беларуская навука, 2009. – 192 с.
3. Марукович, Е. И. Пути решения проблемы структурной наследственности сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // Литье и металлургия. – 2019. – № 1. – С. 21–23.
4. Марукович, Е. И. Наноструктурная теория металлических расплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // Литье и металлургия. – 2020. – № 3. – С. 7–9.
5. Марукович, Е. И. Наноструктурная кристаллизация литейных сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко, А. В. Стеценко // Литье и металлургия. – 2022. – № 3. – С. 13–19.
6. Производство отливок из сплавов цветных металлов: учеб. / А. В. Курдюмов [и др.]. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2011. – 615 с.

## REFERENCES

1. Nikitin V.I., Nikitin K.V. *Nasledstvennost' v lityh splavah* [Heredity in cast alloys]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2005, 476 p.
2. Marukovich E.I., Stetsenko V.Yu. *Modificirovanie splavov* [Modification of alloys]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009, 192 p.
3. Marukovich E.I., Stetsenko V.Yu. Puti resheniya problemy strukturnoj nasledstvennosti splavov [Ways to solve the problem of structural heredity of alloys]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2019, no. 1, pp. 21–23.
4. 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.
5. Marukovich E.I., Stetsenko V.Yu., Stetsenko A.V. Nanostrukturnaya kristallizaciya litejnyh splavov [Nanostructured crystallization of foundry alloys]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 3, pp. 13–19.
6. Kurdyumov A.V. et al. *Proizvodstvo otlivok iz splavov cvetnyh metallov: uchebnik* [Production of castings from non-ferrous metal alloys: textbook]. Moscow, Izd. Dom MISiS Publ., 2011, 615 p.