



УДК 621.745.35

СТРУКТУРНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ПЕРЕПЛАВКЕ ЛИТЕЙНЫХ ДОЭВТЕКТИЧЕСКИХ АЛЮМИНИЕВЫХ 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.

Предложен механизм структурной устойчивости при переплавке доэвтектических алюминиево-кремниевых, алюминиево-медных и алюминиево-магниевых сплавов. Этот механизм определяется устойчивостью центров кристаллизации микрокристаллов α -фаз. Показано, что устойчивость зависит от концентрации адсорбированных атомов водорода: чем она выше, тем менее устойчивы центры кристаллизации микрокристаллов α -фаз в расплавах доэвтектических алюминиево-кремниевых, алюминиево-медных и алюминиево-магниевых сплавов, и наоборот. При увеличении перегревов и (или) времени выдержки расплавов в них повышается концентрация адсорбированных атомов водорода. В результате снижается структурная устойчивость при переплавке указанных сплавов.

Ключевые слова. Доэвтектические алюминиевые сплавы, структурная устойчивость, переплавка, центры кристаллизации, нанокристаллы, адсорбция.

STRUCTURAL STABILITY DURING REMELTING OF FOUNDRY PRE-EUTECTIC ALUMINUM 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 mechanism of structural stability during remelting of pre-eutectic aluminum-silicon, aluminum-copper and aluminum-magnesium alloys is proposed. This mechanism is determined by the stability of the crystallization centers of α -phase microcrystals. It is shown that this stability depends on the concentration of adsorbed hydrogen atoms. The higher this concentration, the less stable the centers of crystallization of α -phase microcrystals in melts of pre-eutectic aluminum-silicon, aluminum-copper and aluminum-magnesium alloys, and vice versa. With an increase in overheating and (or) the holding time of melts, the concentration of adsorbed hydrogen atoms in them increases. As a result, structural stability decreases during remelting of pre-eutectic aluminum-silicon, aluminum-copper and aluminum-magnesium alloys.

Keywords. Pre-eutectic aluminum alloys, structural stability, remelting, crystallization centers, nanocrystals, adsorption.

При литье алюминиевых сплавов наблюдается эффект структурной наследственности [1, 2]. Он состоит в том, что при невысоком перегреве и (или) малом времени выдержки расплава структура получаемых литых заготовок соответствует структуре переплавляемых отливок. Эффективность структурной наследственности при литье сплавов определяется концентрацией центров кристаллизации, которые сохраняют стабильность при температурах выше температур ликвидуса [2, 3]. От стабильности зависит структурная устойчивость при переплавке литейных доэвтектических алюминиевых сплавов.

Цель работы – определить механизм структурной устойчивости при переплавке литейных доэвтектических алюминиевых сплавов.

При кристаллизации расплавов доэвтектических алюминиево-кремниевых сплавов (АКС) формируются микрокристаллы α_1 -фазы ($\alpha_{МК1}$) [4]. Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в результате плавления, при больших перегревах и времени выдержки жидких доэвтектических АКС $\alpha_{МК1}$ распадаются на элементарные нанокристаллы алюминия ($Al_{ЭН1}$) и кремния ($Si_{ЭН}$), свободные атомы алюминия (Al_{a1}) и кремния (Si_a) [5].

Процесс кристаллизации $\alpha_{МК1}$ является наноструктурным и происходит следующим образом [6]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы (α_{CH1}) по реакции:



Затем образуются центры кристаллизации ($\alpha_{\text{цк1}}$):

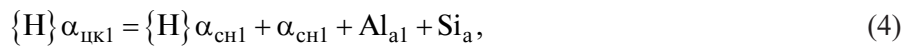


Заканчивается процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК1}}$ реакцией:



Из реакций (1)–(3) следует, что структура доэвтектических АКС при их кристаллизации определяется концентрацией $\alpha_{\text{цк1}}$. Чем она выше, тем более дисперсной становится структура отливок. При небольших перегревах и (или) малом времени выдержки расплавов доэвтектических АКС $\alpha_{\text{МК1}}$ распадаются в соответствии с реакцией, обратной (3).

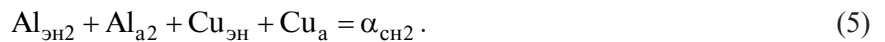
Жидкие алюминиевые сплавы растворяют в основном атомарный водород, который образуется при взаимодействии расплавов с парами воды атмосферного воздуха. При увеличении перегревов и (или) времени выдержки расплавов доэвтектических АКС в них повышается концентрация атомов водорода [7]. Они адсорбируются $\alpha_{\text{цк1}}$ до определенной критической концентрации. При ее превышении происходит распад $\alpha_{\text{цк1}}$ по эффекту Ребиндера:



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

При кристаллизации расплавов доэвтектических алюминийно-медных сплавов (АМС) формируются микрокристаллы α_2 -фазы ($\alpha_{\text{МК2}}$) [4]. Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в результате плавления, при больших перегревах и времени выдержки жидких доэвтектических АМС $\alpha_{\text{МК2}}$ распадаются на элементарные нанокристаллы алюминия ($\text{Al}_{\text{эН2}}$) и меди ($\text{Cu}_{\text{эН}}$), свободные атомы алюминия (Al_{a2}) и меди (Cu_{a}) [5].

Процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК2}}$ является наноструктурным и происходит следующим образом [6]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы ($\alpha_{\text{сн2}}$) по реакции:



Затем образуются центры кристаллизации ($\alpha_{\text{цк2}}$):

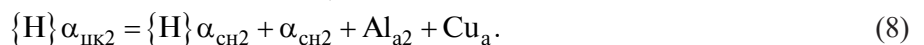


Заканчивается процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК2}}$ реакцией:



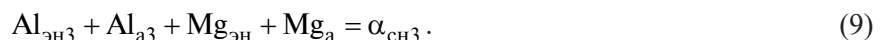
Из реакций (5)–(7) следует, что структура доэвтектических АМС при их кристаллизации определяется концентрацией $\alpha_{\text{цк2}}$. Чем она выше, тем более дисперсной становится структура отливок. При небольших перегревах и (или) малом времени выдержки расплавов доэвтектических АМС $\alpha_{\text{МК2}}$ распадаются в соответствии с реакцией, обратной (7).

При увеличении перегревов и (или) времени выдержки расплавов доэвтектических АМС в них повышается концентрация атомов водорода [7]. Они адсорбируются $\alpha_{\text{цк2}}$ до определенной критической концентрации. При ее превышении происходит распад $\alpha_{\text{цк2}}$ по эффекту Ребиндера по реакции:



При кристаллизации расплавов доэвтектических алюминийно-магниевых сплавов (АМГС) формируются микрокристаллы α_3 -фазы ($\alpha_{\text{МК3}}$) [4]. Согласно наноструктурной теории металлических расплавов, в результате плавления, при больших перегревах и времени выдержки жидких доэвтектических АМГС $\alpha_{\text{МК3}}$ распадаются на элементарные нанокристаллы алюминия ($\text{Al}_{\text{эН3}}$) и магния ($\text{Mg}_{\text{эН}}$), свободные атомы алюминия (Al_{a3}) и магния (Mg_{a}) [5].

Процесс кристаллизации $\alpha_{\text{МК3}}$ является наноструктурным и происходит следующим образом [6]. Сначала формируются структурообразующие нанокристаллы ($\alpha_{\text{сн3}}$) по реакции:



Затем образуются центры кристаллизации ($\alpha_{\text{цк3}}$):



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



Из реакций (9)–(11) следует, что структура доэвтектических АМгС при их кристаллизации определяется концентрацией $\alpha_{\text{цк3}}$. Чем она выше, тем более дисперсной становится структура отливок. При небольших перегревах и (или) малом времени выдержки расплавов доэвтектических АМгС $\alpha_{\text{мк3}}$ распадаются в соответствии с реакцией, обратной (11).

При увеличении перегревов и (или) времени выдержки расплавов доэвтектических АМгС в них повышается концентрация атомов водорода [7]. Они адсорбируются $\alpha_{\text{цк3}}$ до определенной критической концентрации. При ее превышении происходит распад $\alpha_{\text{цк3}}$ по эффекту Ребиндера:



Таким образом, структурная устойчивость при переплавке литейных доэвтектических алюминиевых сплавов определяется устойчивостью центров кристаллизации микрокристаллов α -фаз, которая обратно пропорциональна концентрации адсорбированных атомов водорода.

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 // Литейное производство. – 2019. – № 1. – С. 21–23.
4. Диаграмма состояния систем на основе алюминия и магния: справочник / под ред. М. Е. Дрица. – М.: Наука, 1977. – 228 с.
5. **Марукович, Е. И.** Наноструктурная теория металлических расплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // Литье и металлургия. – 2020. – № 3. – С. 7–9.
6. **Марукович, Е. И.** Наноструктурная кристаллизация литейных сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко, А. В. Стеценко // Литье и металлургия. – 2022. – № 3. – С. 13–19.
7. Производство отливок из сплавов цветных металлов: учебник / 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.
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 structurnoy nasledstvennosti splavov. [Ways to solve the problem of structural heredity of alloys]. *Liteynoe proizvodstvo = Foundry production*, 2019, no. 1, pp. 21–23.
4. *Diagramma sostoyaniya sistem na osnove alyuminiya i magniya: spravochnik* [Aluminium and magnesium system health diagrams]. Moscow, Nauka Publ., 1986, 440 p.
5. **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.
6. **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.
7. **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.