

НАНОСТРУКТУРНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

Стеценко В.Ю.

Стеценко Владимир Юзефович – доктор технических наук,
г. Могилев, Республика Беларусь

Аннотация: статья состоит из десяти разделов, изложенных в краткой стихотворной форме, для лучшего понимания проблемы кристаллизации расплавов литейных сплавов. Вероятность образования в металлических расплавах статистических кластеров равна нулю. Поэтому при плавлении литейных сплавов их микрокристаллы распадаются на нанокристаллы. Они являются термодинамически стабильными элементарными равновесными кристаллами. Их них состоят, в основном, металлические расплавы. Их кристаллизация является наноструктурным процессом. Он начинается с образования структурообразующих нанокристаллов. Они объединяются в центры кристаллизации металлических расплавов. Этими центрами являются не неметаллические включения, а наноструктурные ассоциации. Основными элементами демодифицирования структуры литейных сплавов являются молекулярный водород и атомы кислорода и водорода. Модификаторы уменьшают концентрации демодифицирующих элементов. Этот процесс увеличивает концентрацию центров кристаллизации литейных сплавов и повышает интенсивность кристаллизации металлических расплавов. Повышенная скорость их затвердевания снижает эффективность действия демодифицирующих элементов при кристаллизации микрокристаллов основных литейных сплавов.

Ключевые слова: кристаллизация, металлические расплавы, литейные сплавы, нанокристаллы, демодифицирующие элементы, модификаторы.

NANOSTRUCTURED CRYSTALLIZATION OF MAIN CASTING ALLOYS

Stetsenko V.Yu.

Stetsenko Vladimir Yuzefovich – Doctor of Technical Sciences,
MOGILEV, REPUBLIC OF BELARUS

Abstract: the article consists of ten sections, set out in a brief poetic form, to better understand the problem of crystallization of foundry alloy melts. The probability of formation of statistical clusters in metal melts is zero. Therefore, when casting alloys are melted, their microcrystals decay into nanocrystals. They are thermodynamically stable elementary equilibrium crystals. They consist mainly of metal melts. Their crystallization is a nanostructured process. It begins with the formation of structure-forming nanocrystals. They combine into centers of crystallization of metal melts. These centers are not non-metallic inclusions, but nanostructural associations. The main elements of demodulating the structure of foundry alloys are molecular hydrogen and oxygen and hydrogen atoms. Modifiers reduce the concentrations of demodifying elements. This process increases the concentration of crystallization centers of casting alloys and increases the intensity of crystallization of metal melts. The increased rate of their solidification reduces the efficiency of the demodifying elements in the crystallization of microcrystals of the main casting alloys.

Keywords: crystallization, metal melts, casting alloys, nanocrystals, demodifying elements, modifiers.

УДК 621.745.35

1 Структура металлических расплавов [1, 2].

Из чего состоят металлические расплавы?

Говорят, что из статистических кластеров.

Но кластер – не стабильный нанокристалл,

Кластеров никто и никогда не определял.

Чтобы понять формирование кластеров,

Решаем соответствующее уравнение.

Получаем: вероятность их образования

В расплавах имеет нулевое значение.

При малоугловом рассеянии нейтронов

В расплавах обнаружены нанокристаллы.

Рентгенограммы нанопорошков металлов

Такие же как у металлических расплавов.

В процессе плавления металлов и сплавов
Атомизируется всего 4% микрокристаллов,
Остальные распадаются на нанокристаллы.
Из них состоят металлические расплавы.

Согласно термодинамическим расчетам,
В металлических расплавах нанокристаллы
Являются термодинамически стабильными
Элементарными равновесными кристаллами.

При литье, стабильность и устойчивость в
Металлических расплавах нанокристаллов
Позволяет понять их механизм и объяснить
Структурную наследственность сплавов.

Наноструктурное строение расплавов
Позволяет понять процесс кристаллизации.
Центрами кристаллизации микрокристаллов
Являются наноструктурные ассоциации.

2 Наноструктурная кристаллизация металлических расплавов [3, 4].

Кристаллизация металлических расплавов,
В основном, – наноструктурный процесс.
Он связан с действием нанокристаллов,
К которым проявляется большой интерес.

Кристаллизация металлических расплавов начинается
Образованием структурообразующих нанокристаллов.
Они объединяются в центры кристаллизации расплавов,
На них происходит формирование микрокристаллов.

Центрами кристаллизации микрокристаллов,
При затвердевании металлических расплавов,
Являются не неметаллические включения,
А образования, состоящие из нанокристаллов.

В кристаллизации металлических расплавов
Существуют затруднительные моменты.
Формированию центров кристаллизации
Мешают поверхностно-активные элементы.

Атомы кислорода и водорода расплавов
Являются элементами демодификации.
Они адсорбируются на нанокристаллах
И затрудняют процесс кристаллизации.

Модифицирующие вещества используют
Для измельчения микрокристаллов сплавов.
Эти вещества уменьшают концентрации
Демодифицирующих элементов расплавов.

Снижение концентраций адсорбированных
Атомов кислорода и водорода в расплавах
Повышает интенсивность кристаллизации,
Что измельчает микрокристаллы в сплавах.

3 Наноструктурная кристаллизация силуминов [5, 6].

Силумины – это доэвтектические, эвтектические,
Заэвтектические алюминий-кремниевые сплавы,

Которые при плавлении распадаются, в основном,
На алюминиевые и кремниевые нанокристаллы.

Кристаллизация силуминов – наноструктурный процесс,
В котором основную роль выполняют нанокристаллы.
Из них формируются доэвтектические, заэвтектические,
Эвтектические алюминиево-кремниевые микрокристаллы.

Атомы водорода в доэвтектических силуминах
Являются основными элементами демодификации.
Адсорбируясь нанокристаллами алюминия, водород
Снижает эффективность процесса кристаллизации.

Молекулы водорода в эвтектических силуминах
Являются основными элементами демодификации.
Выделяясь на ветвях микрокристаллов алюминия,
Водород снижает интенсивность кристаллизации.

Атомы кислорода в заэвтектических силуминах
Являются основными элементами демодификации.
Адсорбируясь нанокристаллами кремния, кислород
Снижает эффективность процесса кристаллизации.

Модификаторы алюминиево-кремниевых сплавов
Снижают концентрации элементов демодификации,
Повышают концентрации нанокристаллов алюминия,
Кремния, увеличивая интенсивность кристаллизации.

Повышенная скорость затвердевания силуминов
Препятствует действиям элементов демодификации,
Увеличивает концентрацию центров кристаллизации,
Повышая эффективность процесса кристаллизации.

4 Наноструктурная кристаллизация углеродистых сталей [7, 8].

Расплавы в основном состоят из нанокристаллов,
Поэтому микрокристаллы δ -феррита и аустенита,
В результате плавления углеродистых сталей,
Распадаются на нанокристаллы железа и графита.

В углеродистых сталях нанокристаллы марганца
И кремния – десульфураторы и раскисители,
А нанокристаллы железа и графита в расплавах
Углеродистых сталей – структурообразователи.

У кристаллизации расплавов углеродистых сталей
Довольно простая нанокристаллическая природа.
Все микрокристаллы δ -феррита или аустенита
Образуются из нанокристаллов железа и углерода.

При $C \leq 0,5\%$ из нанокристаллов железа и графита
Образуются дендритные микрокристаллы δ -феррита.
При $C \leq 2\%$ из нанокристаллов железа и графита
Образуются дендритные микрокристаллы аустенита.

Молекулы водорода в углеродистых сталях служат
Одними из основных элементов демодификации.
Выделяясь на дендритах δ -феррита и аустенита,
Водород снижает эффективность кристаллизации.

Атомы кислорода и водорода в углеродистых сталях

Являются основными элементами демодификации.
Адсорбируясь нанокристаллами железа и графита,
Кислород и водород препятствуют кристаллизации.

Модифицирующие вещества углеродистых сталей
Снижают концентрации элементов демодификации,
Повышают концентрацию нанокристаллов железа
И увеличивают интенсивность кристаллизации.

5 Наноструктурная кристаллизация серых чугунов [9].

Расплавы в основном состоят из нанокристаллов,
Поэтому микрокристаллы графита и аустенита,
В результате плавления серых чугунов, в основном,
Распадаются на нанокристаллы железа и графита.

При кристаллизации серых чугунов основную
Роль выполняют нанокристаллы железа и графита.
Из которых формируется эвтектика, состоящая из
Дендритных микрокристаллов графита и аустенита.

Молекулярный водород в серых чугунах служит
Одним из основных элементов демодификации.
Выделяясь на ветвях микрокристаллов аустенита,
Водород снижает эффективность кристаллизации.

Атомарные водород и кислород в серых чугунах
Являются основными элементами демодификации.
Адсорбируясь нанокристаллами железа и графита,
Водород и кислород препятствуют кристаллизации.

Модифицирующие вещества в серых чугунах
Снижают концентрации элементов демодификации,
Увеличивают концентрации нанокристаллов железа
И графита, повышая интенсивность кристаллизации.

Атомы магния в серых чугунах активно связывают
Адсорбированный кислород графитного дендрита,
Повышая разветвленность микрокристаллов графита,
Что способствует образованию шаровидного графита.

6 Наноструктурная кристаллизация белых чугунов [10].

Расплавы в основном состоят из нанокристаллов,
Поэтому микрокристаллы аустенита и цементита,
В результате плавления белых чугунов, в основном,
Распадаются на нанокристаллы железа и графита.

При кристаллизации белых чугунов основную
Роль выполняют нанокристаллы железа и графита.
Из них формируется эвтектика, которая включает
Дендритные микрокристаллы цементита, аустенита.

Молекулярный водород в белых чугунах служит
Одним из основных элементов демодификации.
Выделяясь на ветвях микрокристаллов аустенита,
Водород снижает эффективность кристаллизации.

Атомарные кислород и водород в белых чугунах
Являются основными элементами демодификации.
Адсорбируясь нанокристаллами графита и железа,
Кислород и водород препятствуют кристаллизации.

Модифицирующие соединения в белых чугунах
Снижают концентрации элементов демодификации,
Увеличивают концентрации нанокристаллов железа,
Графита, повышая интенсивность кристаллизации.

Повышение скорости затвердевания белых чугунов
Препятствует действиям элементов демодификации,
Увеличивает стабильность образования цементита,
Повышая эффективность процесса кристаллизации.

7 Наноструктурная кристаллизация магниево-алюминиевых сплавов [11]

Расплавы в основном состоят из нанокристаллов,
Поэтому существующие в сплавах микрокристаллы,
При плавлении магниево-алюминиевых сплавов,
Распадаются, в основном, на Mg и Al нанокристаллы.

При кристаллизации магниево-алюминиевых сплавов
Преобладают магниевые и алюминиевые нанокристаллы.
Из них по диффузионно-наноструктурному механизму
Формируются магниево-алюминиевые микрокристаллы.

Молекулы водорода в магниево-алюминиевых сплавах
Служат одними из основных элементов демодификации.
Выделяясь на дендритных микрокристаллах α -фазы,
Водород снижает эффективность кристаллизации.

Атомы водорода в магниево-алюминиевых сплавах
Являются основными элементами демодификации.
Адсорбируясь нанокристаллами магния и алюминия,
Атомарный водород препятствует кристаллизации.

Модификаторы в магниево-алюминиевых сплавах
Снижают концентрации элементов демодификации,
Увеличивают концентрации нанокристаллов магния,
Алюминия, повышая интенсивность кристаллизации.

Увеличение скорости затвердевания Mg-Al сплавов
Препятствует действиям элементов демодификации,
Увеличивает концентрацию центров кристаллизации,
Повышая эффективность процесса кристаллизации.

8 Наноструктурная кристаллизация никелево-хромовых сплавов [12].

Расплавы в основном состоят из нанокристаллов,
Поэтому существующие в сплавах микрокристаллы,
В результате плавления никелево-хромовых сплавов,
Распадаются, в основном, на Ni и Cr нанокристаллы.

При кристаллизации никелево-хромовых сплавов
Преобладают никелевые и хромовые нанокристаллы.
Из них по диффузионно-наноструктурному механизму
Формируются никелево-хромовые микрокристаллы.

Молекулярный водород в никелево-хромовых сплавах
Служит одним из основных элементов демодификации.
Выделяясь на дендритных микрокристаллах γ -фазы,
Водород снижает эффективность кристаллизации.

Атомы водорода и кислорода в никелево-хромовых
Сплавах – это основные элементы демодификации.

Адсорбируясь на нанокристаллах никеля и хрома,
Водород и кислород препятствуют кристаллизации.

Модификаторы никелево-хромовых сплавов хорошо
Снижают концентрации элементов демодификации,
Увеличивают концентрации нанокристаллов никеля
И хрома, повышая интенсивность кристаллизации.

Увеличение скорости затвердевания Ni-Cr сплавов
Препятствует действиям элементов демодификации,
Увеличивает концентрацию центров кристаллизации,
Повышая эффективность процесса кристаллизации.

9 Наноструктурная кристаллизация алюминиевых бронз [13, 14].

Расплавы в основном состоят из нанокристаллов,
Поэтому существующие в сплавах микрокристаллы,
В результате плавления алюминиевых бронз, в основном,
Распадаются на медные и алюминиевые нанокристаллы.

При кристаллизации алюминиевых бронз основную
Роль выполняют медные и алюминиевые нанокристаллы.
Из них по диффузионно-наноструктурному механизму
Формируются медно-алюминиевые микрокристаллы.

Молекулы водорода в алюминиевых бронзах служат
Одними из основных элементов демодификации.
Выделяясь на дендритных микрокристаллах α -фазы,
Водород снижает эффективность кристаллизации.

Атомарный водород в алюминиевых бронзах
Является основным элементом демодификации.
Адсорбируясь нанокристаллами меди и алюминия,
Атомарный водород препятствует кристаллизации.

Модифицирующие вещества в алюминиевых бронзах
Снижают концентрации элементов демодификации,
Увеличивают концентрации нанокристаллов меди,
Алюминия, повышая интенсивность кристаллизации.

Высокая скорость затвердевания алюминиевых бронз
Препятствует действиям элементов демодификации,
Увеличивает концентрацию центров кристаллизации,
Повышая эффективность процесса кристаллизации.

10 Наноструктурная кристаллизация оловянных бронз [13, 14].

Расплавы в основном состоят из нанокристаллов,
Поэтому существующие в сплавах микрокристаллы,
В результате плавления оловянных бронз, в основном,
Распадаются на медные и оловянные нанокристаллы.

При кристаллизации оловянных бронз основную
Роль выполняют медные и оловянные нанокристаллы.
Из них по диффузионно-наноструктурному механизму
Формируются медно-оловянные микрокристаллы.

Молекулы водорода в оловянных бронзах служат
Одними из основных элементов демодификации.
Выделяясь на дендритных микрокристаллах α -фазы,
Водород снижает эффективность кристаллизации.

Атомы кислорода и водорода в оловянных бронзах
Являются основными элементами демодификации.
Адсорбируясь на нанокристаллах меди и олова,
Кислород и водород препятствуют кристаллизации.

Модифицирующие соединения в оловянных бронзах
Снижают концентрации элементов демодификации,
Увеличивают концентрации нанокристаллов олова
И меди, повышая интенсивность кристаллизации.

Повышение скорости затвердевания оловянных бронз
Препятствует действиям элементов демодификации,
Увеличивает концентрацию центров кристаллизации,
Повышая эффективность процесса кристаллизации.

Список литературы / References

1. *Марукович Е.И., Стеценко В.Ю.* Наноструктурная теория металлических расплавов // *Литье и металлургия*. 2020. № 3. С. 7–9.
2. *Стеценко В.Ю.* Структура и кристаллизация жидких металлов // *Сталь*. 2024. № 10. С. 5–7.
3. *Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Стеценко А.В.* О теории кристаллизации металлических расплавов // *Литейное производство*. 2025. № 6. С. 5–9.
4. *Стеценко В.Ю., Стеценко А.В.* Кристаллизация и перекристаллизация литейных бинарных сплавов – наноструктурный процесс // *Проблемы современной науки и образования*. 2025. № 4. С. 11–15.
5. *Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Стеценко А.В.* Кристаллизация силуминов – наноструктурный процесс // *Металлургия машиностроения*. 2022. № 3. С. 20–21.
6. *Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Стеценко А.В.* Кристаллизация эвтектики алюминиево-кремниевых сплавов // *Литейное производство*. 2025. № 3. С. 28–31.
7. *Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Стеценко А.В.* Наноструктурная кристаллизация стали // *Литье и металлургия*. 2022. № 2. С. 31–33.
8. *Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Стеценко А.В.* Влияние газов на кристаллизацию углеродистых сталей // *Литейное производство*. 2023. № 6. С. 7–10.
9. *Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Стеценко А.В.* О кристаллизации аустенитно-графитной эвтектики чугунов // *Сталь*. 2025. № 6. С. 5–9.
10. *Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Стеценко А.В.* Кристаллизация белых чугунов // *Литейное производство*. 2025. № 1. С. 3–7.
11. *Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Стеценко А.В.* Влияние водорода на кристаллизацию литейных магниевых сплавов // *Литье и металлургия*. 2023. № 1. С. 58–61.
12. *Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Стеценко А.В.* Влияние газов на кристаллизацию хромистых никелевых сплавов // *Литейное производство*. 2023. № 5. С. 20–22.
13. *Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Стеценко А.В.* Механизм влияния модификаторов на кристаллизацию оловянных и алюминиевых бронз // *Литье и металлургия*. 2023. № 2. С. 17–20.
14. *Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Стеценко А.В.* Влияние водорода на формирование первичных структур оловянных и алюминиевых бронз // *Литье и металлургия*. 2023. № 3. С. 49–52.