

Твердофазный механический синтез наноструктурированных дисперсно-упрочненных фазами внедрения сплавов включает диспергизацию, механическое сплавление, формирование пересыщенных твердых растворов и релаксацию неравновесной структуры с насыщением дефектами, выделением вторичных чрезвычайно дисперсных упрочняющих фаз как в процессе самой деформации, так и после термических отжигов.

Акцент в исследовании делается на использовании в качестве лигатуры малоустойчивых при интенсивной пластической деформации фаз (аморфного бора и углерода, нитридов Fe₄N и CrN, а также оксидов железа и меди) и специальным легировании матриц химически активными металлическими добавками (V, Ti, Zr и др.)

Рассмотренные в работе индуцированные мегапластической деформацией циклические фазовые превращения типа «растворение-выделение» фаз внедрения представляют значительный практический интерес как основа новых технологий создания наноструктурированных дисперсно-упрочненных материалов.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИКАТОРОВ

Зубков А.И.¹, Мальцева Л.А.², Соболев О.В.¹, Бармин А.Е.¹

¹*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
Харьков, Украина*

²*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина,
Екатеринбург, Россия
anzubkov@km.ru*

Одним из эффективных способов диспергирования зеренной структуры металлов и сплавов, получаемых металлургическими технологиями, является добавление в расплавы некоторых веществ или элементов, называемых модификаторами. Несмотря на длительную историю применения данной технологии [1], атомные механизмы процессов взаимодействия таких веществ с матричным металлом являются в настоящее время дискуссионными [2, 3]. Это связано со многими причинами, одной из которых является присутствие в расплавах многочисленных неконтролируемых примесей, которые вуалируют физические процессы и механизмы взаимодействия веществ модификаторов с основным металлом при кристаллизации.

Данная работа посвящена изучению указанной проблемы на конденсатах меди и железа, легированных тугоплавкими металлами – вольфрамом и молибденом [4, 5]. Объектами исследования являлись фольги меди и железа толщиной до 50 мкм с содержанием Mo, W до трех атомных процентов. Образцы получали электронно-лучевым испарением компонентов из различных источников и конденсацией их паровой смеси на неориентирующих подложках в вакууме $\sim 10^{-3}$ Па. После отделения от подложек конденсаты подвергались электролитическому утонению и изучались методами просвечивающей электронной микроскопии. Были проведены также рентгенодифрактометрические исследования.

Получены и проанализированы концентрационные зависимости величины зерна конденсатов Cu – Mo и Fe – W, полученных в различных технологических условиях. Эти зависимости характерны тем, что при концентрациях Mo, W \sim до 0,2 – 0,5 ат. % происходит резкое снижение размера зерна конденсатов на основе меди и железа с последующим выходом экспериментальных зависимостей на горизонтальный участок (рис. 1). Уменьшение температуры подложки не изменяет характер зависимостей D-f(C), но приводит к снижению

минимально достигаемого размера зерна и увеличению концентрации Mo, W, соответствующего областям в которых изменяется характер экспериментальных кривых.

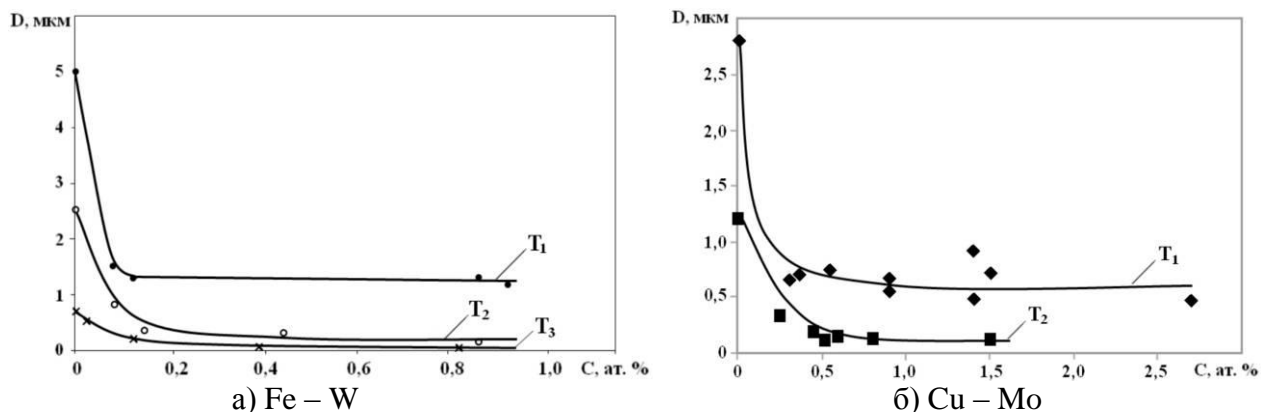


Рис.1. Зависимость среднего размера зерна конденсатов от концентрации легирующего элемента ($T_1 > T_2 > T_3$)

Отметим, что в диапазоне концентраций Mo и W соответствующих ниспадающим ветвям зависимостей $D-f(C)$ не происходит заметного увеличения периодов кристаллических решеток меди и железа.

Приведенные экспериментальные результаты и данные работы [4, 5] позволяют предположить, что при конденсации паровых смесей матричного металла и легирующего элемента происходит обогащение молибденом и вольфрамом поверхности растущих зерен железной и медной матриц. При некотором их содержании рост зерен прекращается, соответственно зависимости $D-f(C)$ выходят на насыщения. Указанные предположения хорошо подтверждаются оценкой концентраций Mo, W необходимых и достаточных для образования сплошного монослоя на поверхности зерен железа и меди минимально достигаемых размеров [6].

Эти результаты свидетельствуют о том, что при конденсации паровых смесей Cu – Mo и Fe – W с весьма малой концентрацией легирующих элементов, атомы молибдена и вольфрама проявляют активность по отношению к поверхности растущих зерен меди и железа и при их соприкосновении образуют зернограничные сегрегации. Таким образом, при малых концентрациях молибден и вольфрам выступают в роли модификаторов.

Способность тугоплавких металлов образовывать одноатомные адсорбционные слои на поверхности растущих при кристаллизации зерен металлов имеющих меньшую температуру плавления и тем самым блокировать их дальнейший рост создает принципиальную возможность получения наноразмерной структуры не только при конденсации из паровой фазы.

Монослойный характер таких зернограничных сегрегаций свидетельствует об образовании сильных межатомных связей между атомами матричного металла и металла-модификатора и соответственно об увеличении когезионной прочности границ зерен [7]. Эти адсорбционные слои снижают зернограничную энергию матричных металлов, что обуславливает экспериментально установленную высокую термическую стабильность их исходной наноразмерной зеренной структуры [8, 9].

Полученные результаты можно использовать для измельчения зеренной структуры металлов и сплавов кристаллизующихся из расплавов. Для этого необходимо подобрать соответствующий элементный состав и создать технологические условия для формирования одноатомных адсорбционных слоев металла-модификатора на поверхности, растущих из расплава кристаллов матричного металла.

[1] Винаров С.М. Кинетика роста зерна аустенита в боросодержащей стали // ДАН СССР. 1947. – Т. 55. № 9, – с.521-523

- [2] Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. М.: Metallurgy, 1986. 272 с.
- [3] Murdoch H.A., Schuh C. A. Estimation of grain boundary segregation enthalpy and its role in stable nanocrystalline alloy design // Journal of Materials Research. 2013. – Vol. 28. №. 16. – p. 2154-2163.
- [4] Зубков А.И., Панова Ю.В. Структура и прочность нанофазных конденсатов Cu – Mo // Вестник НТУ «ХПИ», Сборник научных трудов, Тематический выпуск «Новые решения в современных технологиях» В. 24. – Харьков, 2011. – с. 93-98.
- [5] Barmin A.E., Zubkov A.I., P'inskii A.I. Structural features of the vacuum condensates of iron alloyed with tungsten // Functional Materials. 2012 – Vol. 19. № 2. – p. 256-259.
- [6] Зубков А.И., Островерх А.А. О модифицирующем влиянии молибдена на вакуумные конденсаты меди // Вестник НТУ «ХПИ», Сборник научных трудов, Тематический выпуск «Новые решения в современных технологиях» В. 26. – Харьков, 2012. – с. 155-159.
- [7] Зенгуил Э. Физика поверхности. М.: Мир, 1990. 536 с.
- [8] Зубков А.И. Термическая стабильность нанокompозитов, кристаллизующихся в вакууме // Вестник Тамбовского университета. – 2010. Т.15. № 3. – с. 846-848.
- [9] Бармин А.Е. Термическая стабильность структуры и свойств вакуумных конденсатов Fe и Fe-W // НТУ «ХПИ», Сборник научных трудов, Тематический выпуск «Новые решения в современных технологиях» В. 9. – Харьков, 2012. – с. 82-87.

ПРОЧНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

**Филиппов М.А., Гервасьев М.А., Хадыев М.С.,
Жилин А.С., Легчило В.В., Никифорова С.М., Гаранов Н.Е.**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Изучена взаимосвязь изменения структуры и фазового состава высокоуглеродистых инструментальных и износостойких сталей и наплавочных сплавов перлитного и мартенситно-карбидного классов

У10, 150ХНМ, Х12МФ, 100Х18, 9Х5МФС, 150Х8Т2 с их износостойкостью и способностью к фрикционному упрочнению в процессе абразивного изнашивания.

Рентгеноструктурный анализ показал, что металлическая основа сплавов системы Fe–Cr–C–Ti (Mo, V) в закалённом состоянии имеет аустенитно-мартенситную структуру с включениями карбидной фазы. Количество остаточного аустенита после изнашивания заметно уменьшается, а мартенсита соответственно возрастает, что указывает на метастабильность аустенита и его способность к мартенситному $\gamma \rightarrow \alpha$ превращению при царапании и микрорезании абразивными частицами. Это повышает диссипативную способность структуры и увеличивает её восприимчивость к деформационному упрочнению и, как следствие, абразивной износостойкости.

Максимальная износостойкость изученных сплавов достигается при помощи высокотемпературной объёмной или плазменной поверхностной закалки (1125–1150 °С), которая вследствие растворения вторичных карбидов обеспечивает получение структуры углеродистого метастабильного остаточного аустенита (20–60 %) в металлической основе с высокой интенсивностью мартенситного превращения и упрочнения рабочей поверхности при изнашивании. Сохранение остаточного аустенита способствует повышению трещиностойкости сплавов.