

УДК 54-12

***НАНОМАТЕРИАЛЫ И АМОΡФНЫЕ МЕТАЛЛЫ: ИССЛЕДОВАНИЕ  
СВОЙСТВ, МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ***

***Какорин И.А.<sup>1</sup>***

*магистр,*

*Волгоградский государственный университет,*

*Волгоград, Россия*

**Аннотация**

Статья посвящена аморфным металлам, уникальному классу материалов с неупорядоченной атомной структурой, что придаёт им исключительные свойства, такие как высокая прочность, эластичность и коррозионная стойкость. Рассматриваются методы их получения. Обсуждаются преимущества и ограничения аморфных металлов, такие как высокая стоимость производства и хрупкость. В статье также упоминаются аморфизирующие добавки, которые повышают стабильность этих материалов и расширяют их применение в авиации, космической промышленности и электронике.

**Ключевые слова:** аморфные металлы, аморфизирующие добавки, хрупкость, пластичность, деформация.

***NANOMATERIALS AND AMORPHOUS METALS: STUDY OF  
PROPERTIES, PRODUCTION METHODS AND APPLICATION PROSPECTS***

***Kakorin I.A.***

*master,*

*Volograd State University,*

*Volgograd, Russia*

---

<sup>1</sup> Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент О.А. Какорина, Волгоградский государственный университет.

*Scientific supervisor – Ph.D., Associate Professor O.A. Kakorina, Volgograd State University.*

**Annotation**

The article is devoted to amorphous metals, a unique class of materials with disordered atomic structure, which gives them exceptional properties such as high strength, elasticity and corrosion resistance. The methods of obtaining them are considered. The advantages and limitations of amorphous metals, such as high production costs and brittleness, are discussed. The article also mentions amorphizing additives that increase the stability of these materials and expand their use in aviation, space industry and electronics.

**Keywords:** amorphous metals, amorphizing additives, brittleness, plasticity, deformation.

Введение: В последнее время значительное внимание уделяется исследованию и производству наноматериалов, это можно объяснить двумя ключевыми факторами. Во-первых, за счет уменьшения размера кристаллитов значительно повышается реакционная способность в рамках твердофазных реакций, включая процессы спекания. Во-вторых, вещества в нанокристаллическом состоянии проявляют исключительные свойства (например, магнитные, оптические), отличающиеся от свойств объемных материалов, обусловленные проявлением квантово-размерных эффектов [4]. Следовательно, тщательная подготовка и всестороннее изучение нанокристаллических материалов представляют собой решающий шаг к реализации инновационных устройств следующего поколения [6]. Для получения нового материала необходимо сначала детально изучить его структуру, рассчитать геометрические характеристики, определить физико-химические свойства. Для этого в нанотехнологиях широко используются методы компьютерного моделирования [9].

Цель данного исследования: изучении структуры, геометрических характеристик и физико-химических свойств нанокристаллических материалов, а также в анализе аморфных металлов как примера инновационных материалов.

Задачи исследования включают: изучение методов получения наноматериалов и аморфных металлов; анализ уникальных свойств аморфных металлов и их применения; выявление проблем, связанных с производством и использованием аморфных металлов.

Быстрое развитие промышленности подчеркивает необходимость разработки инновационных материалов, одним из таких примеров являются аморфные металлы [1]. Эти уникальные вещества обладают характерной структурой, очень похожей на структуру расплавленного металла или стекла. Аморфные металлы, также известные как металлические стекла [11], представляют собой уникальный класс материалов, характеризующихся неупорядоченной атомной структурой [3]. В отличие от кристаллических металлов, которые имеют регулярное, повторяющееся расположение атомов, аморфные металлы лишены этого порядка, что приводит к отличающимся свойствам. Такое отсутствие кристаллическости обеспечивает сочетание высокой прочности, эластичности и коррозионной стойкости, что делает эти материалы весьма востребованными для различных передовых применений.

Примечательно, что упорядочение, наблюдаемое в аморфных металлах, ограничивается ограниченным диапазоном, охватывающим лишь несколько межатомных расстояний. По некоторым свойствам ряд аморфных металлов значительно отличаются от кристаллических того же состава [2]. Так из-за отсутствия границ зерен аморфные металлы обладают более высокой прочностью на разрыв по сравнению с кристаллическими. Например, сплавы металлического стекла обладают пределом прочности при растяжении до 1,9 ГПа, что значительно выше, чем у традиционной стали. Аморфные металлы могут испытывать упругую деформацию до 2% по сравнению с кристаллическими металлами, которые обычно имеют упругую деформацию около 0,2%. Отсутствие границ зерен и однородная структура обеспечивают превосходную устойчивость к коррозии. Например, металлические стекла показали хорошую коррозионную стойкость в соленой воде. Некоторые

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

аморфные металлы обладают мягкой намагниченностью [5] и высоким электрическим сопротивлением [7].

Эти отличительные характеристики делают аморфные металлы пригодными для широкого спектра применений. Они могут найти применение в производстве перспективных высокопрочных композитов для авиации, космической промышленности, из-за своей превосходной коррозионной стойкости - в различных химических фильтрах, сосудах, электродах и в качестве защитных покрытий [10].

Аморфные металлы обычно получают с помощью процессов быстрого охлаждения, которые препятствуют организации атомов в кристаллическую структуру. В основном металлы получают тремя способами: 1) расплавленный металл быстро охлаждается на вращающемся круге, образуя тонкие ленты. Этот метод широко используется при изготовлении лент из аморфного металла для трансформаторов и других магнитных устройств [12]; 2) капля расплавленного металла быстро между двумя холодными поверхностями, образуя тонкие плоские диски из аморфного металла. Этот метод используется в лабораторных условиях для быстрого анализа материалов и мелкосерийного производства; 3) атомы металла осаждаются на подложку в вакууме, что позволяет контролировать формирование аморфных пленок. Этот метод широко используется в электронной промышленности для создания тонких пленок с особыми магнитными или оптическими свойствами.

Тем не менее, аморфные металлы сталкиваются с рядом проблем, которые ограничивают их широкое распространение и применение. Среди основных препятствий - стоимость производства, ограничения по размеру, хрупкость и нестабильность.

Главной проблемой является высокая стоимость производства. Процесс быстрого охлаждения расплавленного металла для предотвращения кристаллизации требует специального оборудования и точного контроля, что делает производственный процесс сложным и дорогостоящим. Необходимость

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМН Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

в быстром охлаждении часто требует использования современного дорогостоящего оборудования, что ограничивает возможности производства аморфных металлов в больших масштабах.

Другим существенным ограничением является сложность изготовления крупногабаритных деталей из аморфного металла. Быстрое охлаждение, необходимое для сохранения аморфной структуры, становится все более сложной задачей по мере увеличения размера детали. В результате большинство аморфных металлов в настоящее время доступны только в небольших формах, таких как ленты, проволока или тонкие листы.

Кроме того, хрупкость остается серьезной проблемой, особенно в конструкциях, где ожидается, что материалы будут выдерживать значительные нагрузки и деформации. Хотя аморфные металлы славятся своей прочностью, отсутствие кристаллической структуры может привести к хрупкости, что делает их склонными к разрушению при определенных условиях. Такая хрупкость особенно проблематична в тех областях применения, где требуются материалы, способные поглощать удары или подвергаться деформации без разрушения.

Однако аморфное состояние чистых металлов по своей природе нестабильно, так как при нагревании происходит кристаллизация [8]. Чтобы решить эту проблему, в состав металлических сплавов включают определенные неметаллические элементы, такие как кремний, бор, углерод и фосфор. Эти дополнительные элементы, известные как аморфизирующие добавки, значительно повышают стабильность аморфной структуры [10]. Включение этих добавок позволяет эффективно стабилизировать аморфное состояние, расширяя возможности применения и улучшая общие характеристики аморфных металлических материалов.

Результаты: исследование показало, что аморфные металлы обладают уникальными свойствами, которые делают их подходящими для различных высокотехнологичных применений. Однако для их массового производства

необходимо преодолеть существующие ограничения, такие как высокая стоимость и хрупкость.

Заключение: аморфные металлы представляют собой перспективный класс материалов с уникальными свойствами, которые могут быть использованы в различных отраслях. Однако для их широкого применения необходимо решить проблемы, связанные с производством и стабильностью. Включение аморфизирующих добавок может значительно улучшить характеристики аморфных металлических материалов и расширить их возможности применения.

### Библиографический список

1. Беляков, А. А. Аморфные металлы как материалы будущего / А. А. Беляков, Э. М. Салпагаров // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020 : Сборник тезисов. Секция «Круглый стол молодых ученых» VII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 23–24 апреля 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2020. – С. 55-58.
2. Гаглоева, Д. И. Новые перспективные металлические материалы / Д. И. Гаглоева, О. В. Неелова // студенческий научный вестник. – 2017. – № 4-6. – С. 942-944.
3. Губин, Н. А. Металлические стекла: свойства и перспективы использования / Н. А. Губин, Н. Г. Крашенинникова // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2021. – № 2. – С. 7-9.
4. Давлетова, О. А. Структура и электронные характеристики пиролизованного полиакрилонитрила : специальность 05.27.01 "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Давлетова Олеся Александровна. – Волгоград, 2010. – 17 с.

5. Королев, В. В. В.. Аморфные и нанокристаллические материалы в магнитных датчиках механических напряжений / В. В. Королев, Н. Е. Жадобин // Эксплуатация морского транспорта. – 2010. – № 1(59). – С. 69-72.
6. Котов, А. Э. Аморфные металлические сплавы и нанокристаллические металлы / А. Э. Котов, С. Ф. Забелин // Образование в области безопасности жизнедеятельности и новых технологий: проблемы и перспективы развития : Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции, Чита, 27 апреля 2017 года / Ответственный редактор Л.С. Романова. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2017. – С. 11-16.
7. Лупачев, Д. А. Аморфные металлы в водородной энергетике / Д. А. Лупачев, М. И. Смирнов // Студенческий вестник. – 2018. – № 11-6(31). – С. 22-24.
8. Микитчак, А. Ю. К вопросу об аморфных сплавах / А. Ю. Микитчак // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2016. – Т. 2, № 12. – С. 183-185.
9. Нанотубулярные композиты и их полуэмпирические исследования / И. В. Запороцкова, Е. В. Перевалова, Е. В. Прокофьева, О. А. Давлетова // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2006. – № 2. – С. 4-14.
10. Панченко, А. Н. Аморфные металлы: свойства, получение и применение / А. Н. Панченко // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. – № 6-4(81). – С. 120-123. – DOI 10.24412/2500-1000-2023-6-4-120-123.
11. Разумовская, И. В. Кристаллизация и стеклование. Аморфные и нанокристаллические металлы / И. В. Разумовская, Н. В. Шаронова, Е. А. Мишина // Физика в школе. – 2017. – № 3. – С. 3-11.
12. Шияев, А. И. Факторы получения аморфного металлического волокна / А. И. Шияев // Химическая физика и мезоскопия. – 2018. – Т. 20, № 4. – С. 598-605.

*Оригинальность 81%*