

УДК 546.03

НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**Гаглюева Д.И., Неёлова О.В.***ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова», Владикавказ, e-mail: artemidiana@yandex.ru, o.neelova2011@yandex.ru*

Рассмотрены структура и физико-химические свойства нового класса перспективных металлических материалов, называемых аморфными металлами и сплавами или металлическими стеклами (метглассы). Это вещества, характеризующиеся отсутствием дальнего порядка в расположении атомов, что придает им ряд существенных отличий от кристаллических металлов. Показано, что аморфные металлические материалы характеризуются сочетанием высоких механических, магнитных, электрических свойств и исключительно высокой коррозионной стойкостью. Рассмотрены специальные методы получения аморфных металлических материалов, области их применения и перспективы дальнейших исследований. Отмечены и недостатки аморфных металлов – это их невысокая термическая устойчивость и недостаточная стабильность во времени, а также пока незначительные размеры получаемых изделий. Интерес, проявляемый специалистами к аморфным металлам, обусловлен еще и тем, что они значительно дешевле традиционных материалов, выполняющих ту же задачу.

Ключевые слова: аморфные металлы, металлические стекла, ближний порядок, сверхбыстрое охлаждение, высокие механические, электрические, магнитные свойства, коррозионная стойкость

NEW PROMISING METALLIC MATERIALS**Gagloeva D.I., Neyolova O.V.***Federal State Budgetary Educational University of Higher Education
North Ossetian State University named after Kosta Levanovich Khetagurov, Vladikavkaz,
e-mail: artemidiana@yandex.ru, o.neelova2011@yandex.ru*

The structure and physicochemical properties of a new class of promising metallic materials, called amorphous metals and alloys or metallic glasses (metglasses), are considered. These are substances characterized by the absence of long-range order in the arrangement of atoms, which gives them a number of significant differences from crystalline metals. It is shown that amorphous metallic materials are characterized by a combination of high mechanical, magnetic, electrical properties and extremely high corrosion resistance. Special methods for the production of amorphous metallic materials, their applications and prospects for further research are considered. The shortcomings of amorphous metals are also noted – their low thermal stability and insufficient stability over time, as well as the insignificant size of the obtained products. The interest shown by experts to amorphous metals, due to the fact that they are much cheaper than traditional materials perform the same task.

Keywords: amorphous metals, metallic glasses, short-range order, ultrafast cooling, high mechanical, electrical, magnetic properties, corrosion resistance

В последние 20 лет особое внимание специалистов-материаловедов привлечено к новым неорганическим материалам, представляющим собой аморфные металлические металлы и сплавы с неупорядоченным расположением атомов в пространстве. До недавнего времени понятие «металл» связывалось с понятием «кристалл», атомы которого расположены в пространстве строго упорядоченно. Однако в 1960 г. впервые в Калифорнийском технологическом институте под руководством профессора П. Дювеза методом закалки расплава был получен аморфный сплав золото-кремний в виде металлического стекла состава $\text{Au}_{75}\text{Si}_{25}$, не имеющего кристаллической структуры [1]. Широкое признание аморфные металлические материалы получили в начале 70-х годов прошлого века, когда были разработаны высокоэффективные методы их получения в виде тонкой ленты или проволоки. С 70-х

годов такие исследования стали проводиться и в нашей стране.

Металлы и сплавы с беспорядочным расположением атомов стали называть аморфными металлическими стеклами. Металлические стекла (аморфные сплавы, стекловидные металлы, метглассы) – это металлические сплавы в стеклообразном состоянии, образующиеся при сверхбыстром охлаждении металлического расплава, когда быстрым охлаждением предотвращается кристаллизация (скорость охлаждения не менее 10^6 K/c) [3]. С помощью методов рентгеновской, нейтронной, электронной дифракции было показано, что в аморфных металлических стеклах имеется более или менее четко определяемый на расстоянии двух-трех соседних атомов так называемый ближний порядок: в аморфном металлическом сплаве элементарная ячейка, характерная для кристаллического

состояния, также сохраняется. Однако при стыковке элементарных ячеек в пространстве порядок их нарушается, и стройность рядов атомов, характерная для дальнего порядка, отсутствует [3].

Особенности структуры аморфных металлических стекол сказались и на многих физических свойствах. Металлические стекла обладают уникальным сочетанием высоких механических, магнитных, электрических и антикоррозионных свойств. Так, несмотря на то, что плотность аморфных сплавов на 1-2 % ниже плотности кристаллических аналогов, прочность их выше в 5-10 раз [2]. Металлические стекла отличаются от кристаллических сплавов отсутствием таких дефектов структуры, как вакансии, дислокации, границы зерен, и уникальной химической однородностью: отсутствует ликвация, весь сплав однофазен. Особенности строения металлических стекол обуславливают отсутствие характерной для кристаллов анизотропии свойств, высокую прочность и магнитную проницаемость, малые потери на перемагничивание.

Ещё в начале 60-х годов было показано, что можно получить аморфную структуру сплава, охлаждая жидкий расплав на холодной металлической подложке [1]. Для получения металлических стекол используются, в основном, два метода. В первом методе жидкий металл наносят на внешнюю цилиндрическую поверхность вращающегося диска (колеса), во втором – расплав извлекается вращающимся диском. Данным методом перевести в твердое аморфное состояние чистые металлические элементы трудно. Например, чистый никель удалось зафиксировать в стеклообразном состоянии только при экстремально больших скоростях охлаждения (около 10^{10} К/с). Однако сплавление элементов друг с другом, особенно с металлоидами, значительно облегчает процесс стеклообразования. Характерным в этом отношении является сплав Pd – Si. Чистый палладий не удается перевести в аморфное состояние даже при очень больших скоростях охлаждения. Но сплав палладия с 20 % кремния аморфизуется уже при скоростях охлаждения примерно 10^2 К/с. Другой способ получения металлических стекол – высокоскоростное ионно-плазменное распыление металлов и сплавов. Аморфные металлические сплавы получают в виде напыленного слоя толщиной от 1 до 1000 мкм [2].

Аморфные металлические сплавы в зависимости от состава можно разделить на две основные группы:

1. Сплавы типа металл (Fe, Ni, Co, Pd, Ni) – металлоид (B, Si, P, C) с содержанием металлоидов 15-30 ат. %. Например, Fe–B, Ni–P, Co–Si–B, Pd–Ni–P и др.). Эти сплавы являются на сегодняшний день наиболее важными в практическом отношении.

2. Сплавы типа металл – металл (Cu–Cd, Cu–Zr, Hf–Ni, Nb–Ni и др.).

Благодаря особенностям своего строения, аморфные металлы и сплавы имеют ряд отличительных свойств. Аморфные сплавы обладают уникальными механическими свойствами: они имеют высокую прочность и твердость в сочетании с высокой пластичностью при сжатии или изгибе, также имеют высокий предел прочности на растяжение, высокую усталостную прочность, высокую энергию ударного разрушения и упругости. Так, например, по своей прочности и пластичности проволока их аморфного сплава $\text{Fe}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ превосходит даже стальную рояльную проволоку. Поэтому аморфные сплавы могут найти самое широкое применение как конструкционные или специальные материалы: конструкционные материалы машинного оборудования, материалы матриц (фильер), инструментальные материалы, композитные материалы и др. [1, 3]. Но наиболее широкое применение металлические стекла нашли благодаря их магнитным и электрическим свойствам. Около 80 % промышленных аморфных сплавов применяются в качестве магнитомягких материалов, сочетающих изотропность свойств, высокую магнитную проницаемость, высокую индукцию насыщения, малую коэрцитивную силу. Их применяют для изготовления магнитных экранов, магнитных фильтров и сепараторов, датчиков, записывающих головок и др. [4].

В аморфном состоянии, несмотря на неупорядоченное расположение атомов, может возникать упорядоченное расположение магнитных моментов. Потому многие аморфные сплавы на основе железа, кобальта, никеля, а также некоторых редкоземельных металлов ферромагнитны [4]. Их поведение качественно похоже на поведение кристаллических ферромагнетиков: в них возникают магнитные домены, при перемагничивании имеется петля гистерезиса, существует точка Кюри, выше которой спонтанная намагниченность исчезает, и т.д. В аморфных сплавах отсутствуют такие барьеры для движения доменных сте-

нок при перемагничивании, как дислокации или границы зёрен, однако в роли барьеров могут выступать локальные неоднородности, магнитострикция от внутренних напряжений и т.п. Отжиг ниже температуры кристаллизации, приводящий к релаксации аморфной структуры и уменьшению внутренних напряжений, обычно уменьшает коэрцитивную силу. Однако в некоторых случаях он, наоборот, может привести к расширению петли гистерезиса из-за стабилизации границ доменов.

Беспорядок расположения атомов в виде ближнего порядка оказывает сильное влияние и на электропроводность металлических стекол. Их удельное электрическое сопротивление в 3-5 раз выше, чем у кристаллических аналогов. Это связано с тем, что при движении электронов через нерегулярную структуру аморфных металлических стекол они испытывают гораздо больше столкновений с ионами, чем в кристаллической решетке [2].

Сплавы типа металл – металл и, особенно, металл – металлоид в аморфном состоянии имеют более высокую коррозионную стойкость, чем в кристаллическом состоянии, т.к. химическая однородность, отсутствие межзёренных границ и линейных дефектов типа дислокаций увеличивает коррозионную стойкость за счет устранения локальной разности электрохимического потенциала [4, 5]. Например, аморфный сплав $\text{Fe}_{45}\text{Cr}_{25}\text{Mo}_{10}\text{P}_{13}\text{C}_7$ по стойкости превосходит даже тантал и используется в качестве электродных материалов и фильтров для работы в растворах кислот.

Аморфные металлы и сплавы можно использовать в качестве катализаторов органического синтеза, материалов для топливных элементов, а также в качестве медицинских имплантатов из-за их высокой прочности и коррозионной стойкости [1, 4].

Аморфные сплавы широко применяются в микро- и радиоэлектронике в качестве диффузионных барьеров. Металлы IV-V групп (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta) склонны к образованию гидридов металлов. Показано, что аморфные сплавы способны абсорбировать водород на 50% больше, чем кристаллические. Использование аморфных сплавов тугоплавких металлов в качестве материалов для хранения водорода является новым и весьма перспективным направлением. Наряду с высокими механическими, ферромагнитными свойствами и высокой коррозионной устойчивостью, можно предположить, что аморфные металлы и сплавы должны обла-

дать высокой стойкостью к радиационным воздействиям, т.к. имеют неупорядоченную атомную структуру, которая позволяет сохранять неизменными характеристики материала под воздействием облучения [1].

Аморфные сплавы, обладающие высокой коррозионной стойкостью, твердостью и пределом упругости, могут быть использованы для изготовления бритвенных лезвий. Покрытия из аморфных сплавов могут быть использованы в качестве защитных покрытий металлов [1].

Аморфные металлы часто называют материалами будущего, «фантастическими материалами», что связано с уникальностью методов их получения и особыми свойствами, не встречающимися у кристаллических металлов. Однако аморфные материалы не лишены недостатков: это невысокая их термическая устойчивость и недостаточная стабильность во времени. Также недостатком являются малые размеры получаемых лент, проволоки, гранул и невозможность их сварки. Поэтому аморфные металлы не пригодны в качестве высокотемпературных материалов, а их применение, вероятно, будет ограничено только малогабаритными изделиями.

Однако полное завершение исследований по аморфным структурам еще впереди. Интерес, проявляемый специалистами к аморфным металлам, обусловлен еще и тем, что они значительно дешевле традиционных материалов, выполняющих ту же задачу (если такие материалы вообще существуют). Следует сказать, что ученых и инженеров ждет интересная и перспективная работа в области получения и исследования новых аморфных металлических материалов, в частности, получение аморфных структур, в которых отсутствует даже ближний порядок [2, 5]. Очевидно, что физико-химические свойства аморфных металлов и сплавов и возможности их практического применения ещё до конца не изучены.

Список литературы

1. Вьюгов П.Н., Дмитренко А.Е. Металлические стекла. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники, 2004, № 4, С. 185-191.
2. Золотухин И.В. Аморфные металлические материалы. – Соросовский образовательный журнал, № 4, 1997, С. 73-78.
3. Ржевская С. В. Материаловедение: Учеб. для вузов. – М.: Логос, 2004. – 424 с.
4. Рябов А.В., Окишев К.Ю. Новые металлические материалы и способы их производства. Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 64 с.
5. Судзуки К., Фузимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы. / Под ред. Масумото Ц. Пер. с япон. – М.: Металлургия, 1987. – 328 с.