

Список использованных источников

1. Tsai, M. H. Thermal stability and performance of NbSiTaTiZr high-entropy alloy barrier for copper metallization / M. H. Tsai [et al.] // J. Electrochem. Soc. – 2011. – Vol. 158. – P. 1161–1165.
2. Murty, B. S. High-Entropy Alloys / B. S. Murty, J. W. Yeh, S. Ranganathan // Butterworth-Heinemann (Elsevier). – 2014. – 218 p.
3. Фирстов, С. А. Новый класс материалов – высокоэнтروпийные сплавы и покрытия / С. А. Фирстов [и др.] // Вестник ТГУ. – 2013. – Т. 18, вып. 4. – С. 1938–1940.

УДК 669-1

Высокоэнтропийные сплавы и их применение в качестве покрытий

Сечко И. А., магистрант

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: к. т. н., доцент Комаровская В. М.,
зав. лаб. Вакуумно-плазменных покрытий ГНУ
«ФТИ НАН Беларуси», к. т. н., доцент Латушкина С. Д.*

Аннотация.

В данной работе проводится анализ высокоэнтропийных сплавов (ВЭС), дается их определение и возможные свойства. Рассказывается о проведенных исследованиях ВЭС различного состава, о возможности применения данных сплавов в качестве материала покрытия, а также говорится про методы их получения.

Сплавы с несколькими элементами, близкими к эквиатомным, демонстрируют более высокую энтропию смешения, чем обычные сплавы, и называются высокоэнтропийными (ВЭС), сложными концентрированными сплавами (СКС) или сплавами с несколькими основными элементами (СНОЭ). Обычно они состоят из 5 и более элементов, содержание каждого из которых должно быть не ниже 5 %. Высокая энтропия смешения элементов в сплаве рассматривается как мера вероятности сохранения их системы в данном состоянии.

Это обеспечивает повышенную термическую стабильность фазового состава и структурного состояния, а, следовательно, и свойств сплавов – механических, физических, химических. Со времени первых публикаций на эту тему исследования ВЭС были сосредоточены на аспектах структурной, механической, коррозионной и термической стабильности. Свойства этих сплавов также зависят от способа их получения, но самую большую роль играют выбранные для него элементы [1]. Как сказано в работе [2], возможных комбинаций элементов, образующих высокоэнтропийный сплав, существует более 4000, что открывает большой простор для исследований. Некоторые ученые уже рассматривали в своих работах свойства, полученных высокоэнтропийных сплавов определенного состава, например, $ZrTiAlNbY$, $VNb_2TaCrMoW$ и др. [3, 4].

Кроме того, что такие сплавы в массивном виде могут иметь самые разнообразные возможные сочетания свойств, интерес представляет их применение как материала покрытий на различные инструменты. Проведенные исследования различных типов покрытий подтвердили, что пленки, полученные на основе высокоэнтропийных сплавов, сохраняют повышенные характеристики твердости и жаростойкости [4].

Существуют научные работы, подтверждающие возможность использования высокоэнтропийных сплавов в качестве покрытий, наносимых на изделия [3, 4]. Самыми распространенными из способов нанесения тонких пленок на основе ВЭС являются метод магнетронного распыления и метод лазерной наплавки [5].

В методе лазерной наплавки таких сплавов применяют порошки из ВЭС или проволоки того же состава. Так же высокоэнтропийный сплав может быть сформирован уже на самой поверхности. Для этого используют порошки разных металлов, которые должны присутствовать в составе пленки. Трудности возникают при сохранении фазы твердого раствора при старении при температурах от 400 до 1000 °С. Это связано с тем, что член энтропии является предфактором температуры в уравнении для свободной энергии Гиббса и обычно стабилизирует фазу твердого раствора при температурах, близких к плавлению. Следовательно, при более низких температурах, распад фазы твердого раствора и осаждение интерметаллидов более вероятны, и это наблюдается во многих экспериментах по старению/отжигу ВЭС.

Несмотря на это метод лазерной наплавки позволяет получить компактную и однородную структуру сплава с малым количеством дефектов [5].

Зачастую нанесение покрытий на основе высокоэнтропийных сплавов в вакууме проводилось магнетронным методом из-за большей стабильности протекания процесса распыления. Однако данный метод не обеспечивает высокий уровень адгезионных свойств пленки из-за небольшого процента ионизации потока материала (10–15 %).

Исходя из этого представляет интерес применение вакуумно-дугового метода для осаждения покрытий на основе высокоэнтропийных сплавов. Как известно, процент ионизации плазменного потока, летящего с катода может достигать 90 %. Благодаря этому частицы осаждаемого материала могут глубоко проникать в поверхностный слой заготовки, что в конечном итоге увеличивает адгезионную прочность получаемой пленки. Данный метод также позволяет управлять составом покрытия, что важно при формировании слоев на основе высокоэнтропийных сплавов.

Список использованных источников

1. Accelerated and conventional development of magnetic high entropy alloys / V. Chaudhary [et al.] // *Materials Today*. – 2021.
2. Microstructures and properties of high-entropy alloys / Y. Zhang [et al.] // *Prog. Mater Sci.* – 2014. – Vol. 61. – P. 1–93.
3. Многоэлементные покрытия (Zr-Ti-Al-Nb-Y)N, полученные вакуумно-дуговым осаждением / И. Н. Торяник [и др.] // *Физическая инженерия поверхности*. – 2013. – Т. 11, № 4. – С. 420–426.
4. Новый класс материалов – высокоэнтропийные сплавы и покрытия / С. А. Фирстов [и др.] // *Вестн. том. гос. ун-та*. – 2013. – Т. 18. – С. 1938–1940.
5. High temperature zirconium alloys for fusion energy [Electronic resource] / D. J. M. King [et al.] // *Journal of Nuclear Materials*. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022311521006516>. – Date of access: 04.03.2023.