

Литература

1. Немененок, Б.М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов [Текст] / Б.М. Немененок - Мн. Технопринт, 1999. – 272 с.
2. Калиниченко, А.С. Управляемое направленное затвердевание и лазерная обработка: теория и практика [Текст] / А.С. Калиниченко, Г.В. Бергман - Мн.: Технопринт, 2001. - 367 с.
3. Закономерности формирования структуры слитков алюминиевых сплавов при непрерывном литье с ультразвуковой обработкой кристаллизующегося расплава [Текст] / В.И. Добаткин, Г.И. Эскин, С.И. Боровикова, Ю.Г. Гольдер. - М.: Наука - 1976. - С. 151-161.
4. Скворцов, А.А. Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок [Текст] / А.А. Скворцов, А.Д. Акименко, В.А. Ульянов - М.: Металлургия, 1995. – 272 с.
5. Ефимов, В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов [Текст] / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1995. – 272 с.
6. Эльдарханов, А.С. Процессы кристаллизации в поле упругих волн [Текст] / А.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1996. – 256 с.
7. Возможность использования комплексного модификатора длительного действия на основе нанопорошков длительного действия для повышения качества отливок из алюминиевых сплавов [Текст]: Новые материалы и технологии в машиностроении-2005. Сб. трудов IV Международной научно-технической конференции. / Брянск: БГИТА - 2005. – С. 17 – 23.
8. Спосіб отримання виливків [Текст]: Деклараційний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В.; заявитель и патентообладатель Селівьорстов В.Ю. - № 28858; заявл. 03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл. № 21. – 4 с.
9. Пристрій для отримання виливків [Текст]: Деклараційний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В., заявитель и патентообладатель Селівьорстов В.Ю. - № 28859; заявл. 03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл. № 21. – 4 с.

Досліджено структуру та умови формування імпульсно-плазмових нанокристалічних покриттів з високим вмістом аморфної складової з модифікованих порошкових сплавів системи Fe-Cr-Mo-B

Ключові слова: покриття, порошкові сплави, нанокристалічна структура

Исследована структура и условия формирования импульсно-плазменных нанокристаллических покрытий с высоким содержанием аморфной составляющей из модифицированных порошковых сплавов системы Fe-Cr-Mo-B

Ключевые слова: покрытия, порошковые сплавы, нанокристаллическая структура

The structure and formation conditions of pulsed-plasma nanocrystalline coatings with high amorphous component from the modified powder alloys of the system Fe-Cr-Mo-B has been investigated

Keywords: coatings, powder alloys, nanocrystalline structure

УДК 621.793.7:539.213

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ Fe -Cr -Mo -B

Г. Н. Лукина

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра сварочного производства, диагностики и
восстановления металлоконструкций
Национальный университет «Львовская политехника»
ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, Украина, 79013
Контактный тел.: (032) 267-12-97, 097-383-48-99
E-mail: g.n.lukina@gmail.com

Введение

Среди известных методов защиты и восстановления деталей в машиностроении большими преимуществами обладает импульсно-плазменное напыление, позволяющее формировать покрытия с нанокристаллической структурой при высокой прочности сцепления с основой и умеренном нагреве напыляемой поверхности. Исследование структуры этих покрытий из экономнолегированных порошковых сплавов на основе железа является весьма актуальной задачей.

Постановка проблемы

В практике газотермического напыления широко используют порошковые сплавы на основе никеля системы Ni-Cr-B-Si, которые при определенных условиях напыления позволяют формировать покрытия с аморфной или нанокристаллической структурой [1]. Порошковые сплавы на основе железа гораздо дешевле никелевых, однако их широкое использование ограничивают технологические трудности их напыления, а именно: высокая температура плавления, а также химическая и структурная неоднородность, препятствующие аморфизации.

Анализ исследований и публикаций

Модифицирование структуры порошковых сплавов на основе железа позволяет повысить степень их структурной и химической однородности. В работе [2] исследовали порошковые сплавы системы Fe-Cr-Mo-V состава (ат. %): 12,5...13,5% Cr, 9...10% Mo и 25...26% ванадия, которые дополнительно легировали добавками 2% ванадия и 0,3-0,6% редкоземельных металлов (РЗМ). Было показано, что в результате модифицирования ванадием и РЗМ получено равномерное распределение в порошок системы Fe-Mo-Cr-B-V-РЗМ дисперсных боридов, преимущественно (Mo,V,Cr)₂B₂.

Постановка задачи

Данная работа посвящена исследованию особенностей формирования структуры импульсно-плазменных покрытий, полученных из порошковых сплавов системы Fe-Mo-Cr-B-V-РЗМ.

Результаты исследований

Для исследования структуры покрытий был привлечен комплекс методов: оптическая микроскопия со статистической обработкой результатов для определения содержания аморфной составляющей; рентгеноструктурный анализ на дифрактометре ДРОН-3 для определения фазового состава покрытий; микрорентгеноспектральные исследования на электронно-зондовом микроанализаторе «Сamebaх MB-1». Импульсно-плазменное напыление покрытий осуществляли на установке «Импульс-М» при энергии разряда 10,0...13,5кДж и использовании аргоно-водородной (15...20%

H₂) смеси в качестве плазмообразующего газа. При этом были получены плотные (пористость 0,5...2,0 %) покрытия со слоистой структурой, характерной для газотермических покрытий.

Показано, что в процессе импульсно-плазменного напыления происходит значительная аморфизация покрытий, что подтверждается образованием в интервале углов отражения 40...60° диффузного гало и уменьшением высоты пиков боридов (Fe, Cr, Mo)₃B и (Mo, Cr)₂B₂ при полном исчезновении линий боридов (Fe, Cr)₂B.

Образование в покрытии системы Fe-Mo-Cr-B значительного количества аморфной составляющей положительно влияет на распределение легирующих элементов: однородность распределения железа и молибдена в покрытии значительно выше, чем в порошок. Однако достаточно крупные (5...10мкм) включения боридов (Mo,Cr)₂B₂ наследуются в структуре покрытий, о чем свидетельствует наличие микрообластей с концентрационной неоднородностью, а именно, высоким (до 55 %) содержанием молибдена и низким (до 20 %) содержанием железа при равномерном распределении хрома (рис.1а,б,в). Покрытия из порошка системы Fe-Mo-Cr-B-V-РЗМ отличаются более равномерным распределением легирующих элементов, а наблюдаемые микросегрегации молибдена и железа связаны с наличием в покрытии дисперсных боридов (рис. 1г, д, е).

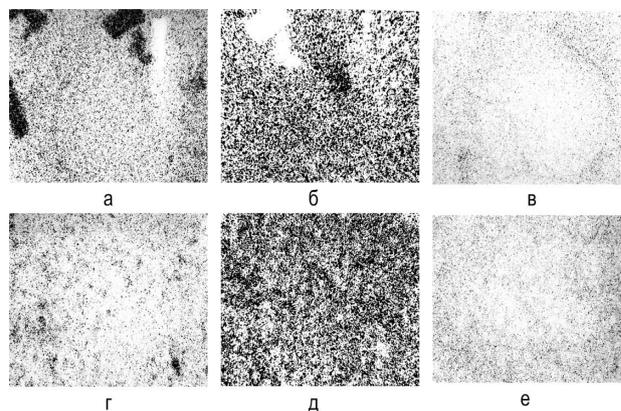


Рис. 1. Распределение элементов (съемка в характеристическом излучении) в структуре покрытий систем Fe-Mo-Cr-B (а, б, в) и Fe-Mo-Cr-B-V-РЗМ (г, д, е), x1000: а, г – FeK_α; б, д – MoK_α; в, е – CrK_α

Исследования с привлечением металлографического, микрорентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа показали, что наблюдаемые в покрытиях светлые участки соответствуют аморфной составляющей, а темные – нанокристаллической. В процессе формирования покрытий происходит лишь частичное растворение и диспергирование крупных боридов (Mo,Cr)₂B₂, отличающихся высокой (11,5...17,0 ГПа) микротвердостью. Нанокристаллическая составляющая покрытий системы Fe-Mo-Cr-B имеет различное строение и микротвердость. Преимущественно она представлена эвтектической структурой различной степени дисперсности с включениями боридов размером 1...2 мкм. В случае использования при напылении порошка мелкой (до 40мкм) фракции доля аморфной

составляющей достаточно велика (60...70 %), а при напылении порошка размером 40-60 мкм доля аморфной составляющей не превышает 50-60% (рис.2).

Микротвердость аморфной и нанокристаллической составляющей в покрытии из порошка системы Fe-Мо-Сг-В составляет соответственно 8,5...10,0 и 6,5...8,0 ГПа. Этот факт иллюстрирует рис.2в, на котором хорошо видны отпечатки индентора. Результаты сравнительных структурных и фазовых исследований исходных порошков и покрытий Fe-Мо-Сг-В позволяют объяснить более высокую микротвердость аморфной составляющей по сравнению с нанокристаллической. Согласно данным микрорентгеноспектральных исследований, нанокристаллическая составляющая порошка системы Fe-Мо-Сг-В сильно обеднена упрочняющими элементами (молибденом и бором), которые расходуются на образование избыточных боридов, преимущественно типа (Мо,Сг)В₂. Диспергирование и растворение фаз при расплавлении частиц порошка при импульсно-плазменном напылении приводит к насыщению и упрочнению твердого раствора этими элементами (в первую очередь бором). Это хорошо согласуется с данными о том, что микротвердость аморфных металлических сплавов системы Fe-В определяется не столько содержанием металлических элементов, входящих в их состав, сколько содержанием бора [3].

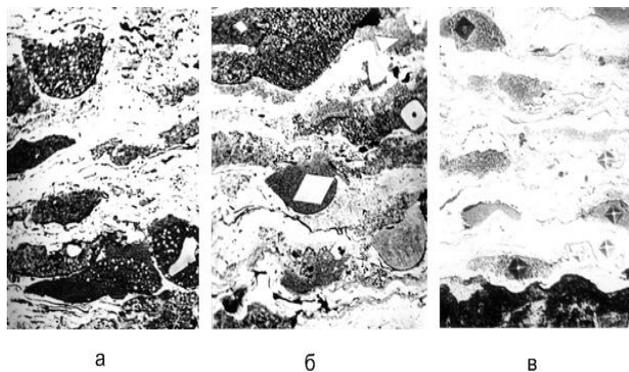


Рис.2. Микроструктура (x800) покрытий систем Fe-Мо-Сг-В: а,в – порошок размером меньше 40мкм; б - порошок размером 40...60мкм; в –x400

Преобладающими фазами в покрытии из порошка системы Fe-Мо-Сг-В-V-РЗМ, имеющему благодаря модифицированию ванадием и РЗМ однородную структуру, являются аморфная составляющая и борид (Мо,В,Сг)В₂ (рис.3). Наиболее однородное покрытие, которое представлено обширными бесструктурными областями аморфной составляющей с отдельными тонкими прослойками нанокристаллической, получено из порошка системы Fe-Мо-Сг-В-V-РЗМ с размером частиц меньше 40мкм.

На содержание аморфной составляющей в покрытии существенно влияют размер исходного порошка и энергия импульсного разряда при напылении. При напылении порошка размером 40...60 мкм доля аморфной составляющей снижается до 60...70%. При напылении крупного порошка размером 60...100мкм и энергии разряда 10 кДж получено нанокристаллическое покрытие с содержанием аморфной составляющей не более 20%. Установлено, что использование режимов напыления

с высокой (до 13,5 кДж) энергий разряда и порошка мелких (до 40 мкм) фракций, приводит к увеличению количества аморфной составляющей в покрытии до 80...90% (рис. 3а). Микротвердость аморфной и нанокристаллической фазы в покрытии из порошка системы Fe-Мо-Сг-В-V-РЗМ составляет 9...10 и 7,5...8,0 ГПа.

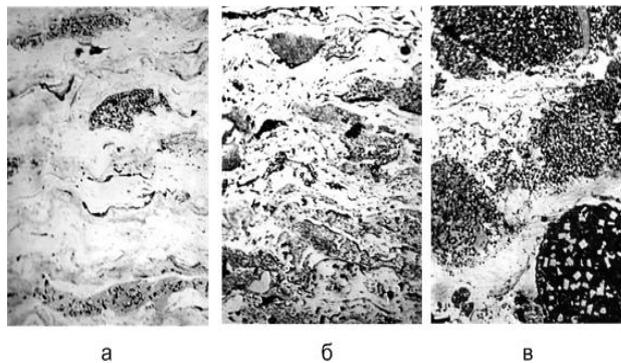


Рис.3. Микроструктура (x800) покрытий систем Fe-Мо-Сг-В: а – порошок размером меньше 40мкм; б, г - порошок размером 40...60 мкм; в – порошок размером 60...100 мкм

Равномерное распределение в порошке системы Fe-Мо-Сг-В-V-РЗМ дисперсных упрочняющих фаз облегчает процесс их растворения при нагреве, что способствует формированию в покрытии большего количества (80...90 %) аморфной составляющей. Поскольку среднее значение микротвердости покрытия определяется соотношением в его структуре объемов нанокристаллической и аморфной фаз, то легко достигаемая аморфизация покрытий системы Fe-Мо-Сг-В-V-РЗМ позволяет формировать покрытия достаточно высокой твердости, а соответственно, и износостойкости.

Выводы

Импульсно-плазменные покрытия из порошков системы Fe-Мо-Сг-В-V-РЗМ отличаются высоким содержанием аморфной составляющей и равномерным распределением дисперсных боридов.

Условиями получения нанокристаллической структуры покрытий системы Fe-Мо-Сг-В-V-РЗМ с максимальным (80...90 %) содержанием аморфной составляющей является использование порошка мелкой (до 40 мкм) фракции и напыление при высокой (13...13,5 кДж) энергии разряда.

Литература

1. Голубец, В.М. Особенности структуры и свойства аморфизированных импульсно-плазменных покрытий [Текст] / В.М. Голубец, Г.Н. Лукина, В.В. Швец // Физико-химическая механика материалов. – 1992. – Т. 28, №6. – С.56-60.

2. Быстрозакаленные материалы и покрытия [Текст] : труды 5 Всероссийской с междунар. участием научн.-техн. конф. , Москвa МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского , 2006. – С.201-205.
3. Мильман, Ю.В. Микротвердость аморфных металлических сплавов [Текст] / Ю.В. Мильман, С.В.Пан, С.В.Постой и др. // Порошковая металлургия. –1990. –№8. –С.49-53.

Досліджено вплив температурного відпалу на властивості гетеропереходів $p\text{-InSe-n-In}_2\text{O}_3$. Для середньостатистичних структур з $U_{xx}=0,25\text{ В}$ і $I_{kz}=250\text{ }\mu\text{А}$ спостерігається покращення U_{xx} на 48%, I_{kz} на 44%

Ключові слова: шаруваті кристали, гетеропереходи, імпеданс, дефекти, наноутворення

Исследовано влияние температурного отжига на свойства гетеропереходов $p\text{-InSe-n-In}_2\text{O}_3$. Для среднестатистических структур с $U_{xx}=0,25\text{ В}$ и $I_{kz}=250\text{ }\mu\text{А}$ наблюдается улучшение U_{xx} на 48%, I_{kz} на 44%

Ключевые слова: слоистые кристаллы, гетеропереходы, импеданс, дефекты, нанообразования

Annealing effect on the properties of $p\text{-InSe-n-In}_2\text{O}_3$ heterojunctions is studied in the article. For the average structures with $V_{oc}=0,25\text{ V}$ and $I_{sc}=250\text{ }\mu\text{A}$, the increase of V_{oc} by 48% and I_{sc} by 44% is observed

Keywords: layered crystals, heterojunctions, impedance, defects, nanostructures

УДК 621.315.592

ВПЛИВ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВІДПАЛУ НА ВЛАСТИВОСТІ ГЕТЕРОПЕРЕХОДІВ $p\text{-InSe-n-In}_2\text{O}_3$

З.Р. Кудринський

Аспірант*

Контактний тел.: (0372) 52-00-50; (0372) 52-51-55

E-mail: kudrynskyi@gmail.com

З.Д. Ковалюк

Доктор фізико-математичних наук, професор

Керівник

*Чернівецьке відділення Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук України

І.Вільде, 5, м. Чернівці, Україна, 58001

Контактний тел.: (0372) 52-00-50; (0372) 52-51-55

E-mail: zakhar.kovalyuk@gmail.com

Вступ

В останні роки шаруваті кристали A^3B^6 все більше привертають увагу як перспективні матеріали для інтегральної фотоелектроніки. Зацікавлення дослідників даними матеріалами зумовлене можливостями застосування їх у нелінійній оптиці, в перетворювачах сонячної енергії, високочутливих оптичних датчиках ближнього інфрачервоного і видимого спектру.

До класу даних матеріалів належить також і моноселенід індію (InSe), що володіє цілою низкою цікавих фізичних властивостей та специфічною хімічною будовою. Сполука InSe характеризується значною анізотропією властивостей через її багат шарову структуру, де в межах шарів діють переважно ковалентні зв'язки між атомами, в той час як взаємодія між шарами є слабкою (ван-дер-ваальсовою). Кожен окремий шар володіє ромбоєдричною симетрією і включає чотири атомні площини Se-In-In-Se . Кристали легко сколоті паралельно до шарів і, як результат, отримана поверхня є дзеркальною і має низьку густину поверхневих станів. Відсутність вільних зв'язків на

сколений поверхні кристала InSe робить цю поверхню неактивною для абсорбції, що дозволяє застосовувати її окиснення з метою виготовлення гетеропереходів [1-3]. Таке окиснення моноселеніда індію приводить до утворення на його поверхні власного оксиду подібного, за властивостями, до In_2O_3 . Володіючи одночасно високою провідністю і прозорістю така плівка оксиду приводить до утворення якісного гетеропереходу з кристалами InSe р-типу провідності. Такий метод виготовлення високоякісних гетеропереходів викликає значний інтерес з практичної точки зору, оскільки характеризується унікальною простотою та дешевизною в порівнянні з традиційними методами.

У даній роботі показана можливість покращення фотоелектричних параметрів гетеропереходів «власний оксид – $p\text{-InSe}$ », шляхом низько-температурних відпалів у вакуумі.

Методика експерименту

Для виготовлення гетеропереходів використовувався монокристалічний $p\text{-InSe}\langle\text{Cd}\rangle$, вирощений вер-