

Литература

1. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И. В. Суминов, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людин [и др.]. – М. : ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Трушкина, Т. В. Коррозионная стойкость МДО-покрытий в агрессивных средах / Т. В. Трушкина, А. Е. Михеев, А. В. Гирн // Вестник СибГАУ. – 2014 – № 1. – С. 179–184.
3. Злотников, А. И. Повышение межслоевой адгезии в гибких фольгированных диэлектриках методом микродугового оксидирования / А. И. Злотников, Г. В. Петришин, И. И. Злотников // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого. – 2023. – № 1 (92). – С. 41–47.
4. Злотников, И. И. Повышение антифрикционных свойств керамических покрытий, полученных методом МДО на алюминиевых сплавах / И. И. Злотников, В. М. Шаповалов // Трение и износ. – 2019. – Т. 40, № 5. – С. 128–131.

ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

М. В. Невзоров

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Г. В. Петришин

Отмечено, что в последние годы функционализированные металлические порошки вызывают все больший интерес в аддитивном производстве (в частности, в лазерной порошковой плавке) благодаря их улучшенной текучести и технологичности, которые могут обеспечить более высокие конечные механические или физические свойства напыляемых покрытий на детали, такие, как повышенная твердость, более высокая прочность и плотность. Представлен анализ получаемых в настоящее время порошковых покрытий и процессов, используемых для их производства, технологичность систем с покрытиями, полученными с помощью лазерной наплавки.

Ключевые слова: функционализированные металлические порошки, покрытия, лазерная наплавка.

Технологии производства, основанные на порошковой металлургии (ПМ), играют важную роль в нескольких различных отраслях промышленности [1, 2], в том числе и в области технологии обработки новых или изношенных деталей машиностроительного оборудования для получения износостойких и прочных поверхностных покрытий. Необходимость получения таких покрытий привела к разработке функционализированных базовых материалов [3] и оптимизации технологических процессов. В связи с этим в ремонтных работах значительно расширилось использование модифицированных металлических порошков с покрытием, что позволяет улучшить обрабатываемость порошков или изменить микроструктуру, механические, физические и термические свойства готовой детали. Покрывая поверхность порошков, можно изменять температуру плавления [4], сыпучесть и поглощающую способность [5] самого порошка.

Микроструктурные характеристики также могут быть изменены путем нанесения второй фазы, в частности, нанокерамических частиц, таких, как структуры на основе ZrO_2 , Al_2O_3 , B_4C , SiC , TiB_2 , C [6]. Это может привести к появлению механизмов измельчения зерна, что повышает механическую прочность [7]. Механические свойства готовых изделий, такие как прочность на сжатие, твердость, предел текучести, и физические свойства, такие, как плотность, можно улучшить, используя порошки с покрытием [8].

Аддитивное производство, к которому можно отнести и лазерную порошковую наплавку (ЛПН), подходит для получения покрытий на поверхностях различной геометрической формы. Отметим, что ЛПН – это послойный процесс, при котором лазерный луч применяется для выборочного плавления металлических порошков; затем расплавленный слой затвердевает с высокой скоростью охлаждения [9]. Чтобы гарантировать равномерное распределение порошков в каждом слое, порошки, используемые для ЛПН, должны характеризоваться хорошей текучестью и сферической морфологией.

Цель работы – провести краткий обзор современных систем покрытий (порошок + покрытие на него) с описанием применяемых методов нанесения покрытий с целью анализа и понимания возможностей улучшения обрабатываемости деталей посредством ЛПН с повышением их механических свойств.

Порошки основных металлов. Стальные порошки широко используются в широком спектре промышленных областей благодаря их высокой пластичности, высокой прочности, высокой коррозионной стойкости [10]. Аустенитные порошки нержавеющей стали однако показывают низкую твердость и относительно низкую износостойкость; стратегия повышения твердости и износостойкости заключается в покрытии металлических порошков керамическими наночастицами (например, TiB_2), действующими как измельчитель зерна. Добавление керамических частиц может повысить рабочую температуру и механические свойства. Металлические порошки из алюминия и его сплавов обладают высокой удельной прочностью, высокой коррозионной стойкостью, хорошей теплопроводностью и хорошими механическими свойствами. Чистая медь широко используется в электронных приложениях и компонентах теплопередачи в различных секторах из-за ее превосходной паяемости и низкой электрохимической миграции, превосходной электро- ($58,7 \times 10^6$ См/м) и теплопроводности (400 Вт/(м · К)).

Процессы нанесения покрытий на металлические порошки. Как правило, процессы нанесения покрытий состоят из осаждения частиц или ионов на металлические порошки; эта цель достижима механическими или немеханическими методами, подробно описанными в статье. Немеханические методы состоят из широкого спектра физических и термических процессов с определенными вариациями. Было разработано несколько процессов, включающих растворение, химические и физические методы для нанесения покрытий на порошки, которые используются для решения некоторых критических проблем методов механического нанесения покрытий.

Процессы нанесения модифицированных функциональных металлических порошков разнообразны и включают множество аспектов, таких, как обрабатываемость, механические и физические свойства. Возможны различные способы нанесения покрытий. Так называемые механические методы нанесения покрытий были одними из первых принятых. Однако, когда задействована высокая энергия, происходит сильная пластическая деформация, изменяющая форму порошков и ухудшающая их текучесть. С другой стороны, процессы нанесения покрытий, включающие химические растворы, не влияют на геометрию и распределение размеров порошков, обычно приводя к однородным и непрерывным покрытиям. Эти процессы характеризуются различными трудностями, такими, как ограниченное количество порошка, которое можно обработать вместе, затраты и сложность самого процесса. По этим причинам обязательно оценить новые методы, которых в настоящее время нет на рынке, чтобы получить постоянное и однородное покрытие, которое может обеспечить более высокую обрабатываемость. Порошки с покрытием могут улуч-

шить обрабатываемость L-PBF с точки зрения более высокой текучести и поглощения, особенно для тех металлов, которые характеризуются высокой отражательной способностью лазера.

Модификация поверхности порошка может преследовать более высокую поглощательную способность лазера. Здесь задействованы два основных фактора:

- шероховатость поверхности, которая обычно увеличивается за счет покрытий;
- выбор материала покрытия с высоким коэффициентом поглощения.

Несколько параметров также влияют на текучесть. Более высокая шероховатость поверхности может отрицательно повлиять на нее, тогда как керамические наночастицы могут ее увеличить из-за внутренних низких сил Ван-дер-Ваальса.

Таким образом, механические свойства конечных деталей также могут быть улучшены путем наплавления поверхностного слоя модифицированными функциональными металлическими порошками. Твердость поверхности может быть увеличена за счет использования частиц керамического покрытия или за счет эффекта измельчения зерна. Использование металлических порошков, однородно покрытых наночастицами, может привести к улучшению адгезии и твердости поверхностного слоя.

Л и т е р а т у р а

1. Ильющенко, А. Ф. Исследование характеристик специальных порошков и материалов, полученных методом селективного лазерного сплавления / А.Ф. Ильющенко // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2018. – Т. 63, № 2. – С. 150–160.
2. Магнитно-абразивная обработка труднообрабатываемых материалов новыми диффузионно-легированными материалами / Ю. Ольт, В. В. Максarov, Г. В. Петришин [и др.] / СТИН. – 2023. – № 1. – С. 22–25.
3. Упрочнение и восстановление поверхностей деталей: лабораторный практикум : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений по металлургич. и машиностроит. специальностям / К. В. Буйкус, С. В. Григорьев, В. А. Оковитый [и др.]. – Минск : БНТУ, 2010. – 342 с.
4. Пантелеенко, Е. Ф. Функциональные покрытия из дисперсных металлических отходов / Е. В. Пантелеенко, Г. В. Петришин // Инновации в машиностроении (Инмаш-2015) : сб. тр. VII Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 23–25 сент. 2015 г. / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Кемерово, 2015. – С. 355–360.
5. Металлографические исследования лазерной наплавки износостойких порошков на инструмент / М. А. Чернова, Р. М. Хисамутдинов, В. В. Звездин [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – Т. 4, №. 11.
6. Иванов, А. С. Анализ порошков для лазерной наплавки при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники / А. С. Иванов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 5 (91). – С. 125–129.
7. Ильющенко, А. Ф. Современные разработки в области порошковой металлургии для машиностроения / А. Ф. Ильющенко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2012. – № 3-4. – С. 113–120.
8. Формирование и исследование плазменных порошковых покрытий из оксидной керамики, модифицированной высокоэнергетическими воздействиями / В. А. Оковитый, Ф. И. Пантелеенко, В. В. Оковитый [и др.] // Наука и техника. – 2018. – №. 5. – С. 378–389.
9. Пантелеенко, Ф. И. Прогрессивные технологии лазерной наплавки и газотермического напыления / Ф. И. Пантелеенко, П. Жэн // Литье и металлургия. – 2024. – №. 3. – С. 61–65.
10. Пантелеенко, Ф. И. Влияние активатора на интенсивность химико-термической обработки микрообъектов различных структурных классов / Ф. И. Пантелеенко, М. Н. Карпец // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2022. – №. 1 (88). – С. 33–38.