

ПОЛУЧЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ АДДИТИВНЫМИ МЕТОДАМИ

Чижик С.А. Институт тепло-массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,

Хейфец М.Л. ГНПО «Центр» НАН Беларуси,

*Витязь П.А., Сенюць В.Т. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
Минск, Беларусь,*

*Колмаков А.Г. Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН,
Москва, Россия*

Сущность аддитивных технологий заключается в послойном синтезе или «выращивании» изделия по «цифровой модели» без использования формообразующей оснастки. Создание формы изделия происходит путем добавления материала, в отличие от традиционных технологий, основанных на удалении «лишнего» материала [1].

Передовые технологии, помимо используемых новых аппаратных и программных средств, оборудования и оснащения, основываются на послойном выращивании поверхностей изделий и самоорганизации структур композиционного материала [2, 3]. Поэтому особенно перспективен подход, рассматривающий аддитивные методы как синерготехнологии, обеспечивающие самоорганизацию

поверхностных явлений при послойном формировании структур поверхностных слоев различных материалов и управление их свойствами при разнообразных физических воздействиях [4].

Самоорганизация поверхностных явлений обеспечивает устойчивое образование слоя определенной толщины при значительных изменениях расстояния от источника энергии или подаваемого материала до формируемой поверхности, а также позволяет в результате взаимопроникновения сращивать последовательно наносимые слои [4, 5]. Прямое выращивание изделий послойным синтезом материала возможно в различных агрегатных состояниях - твердом, жидком, газообразном и в разнообразных высокоэнергетических процессах [2, 4] с объемной, множеством локализованных и единой сфокусированной зоной поглощения [5] в зависимости от плотности мощ-

ности потоков энергии.

Высокоэнергетические процессы (индукционная наплавка, послойное нанесение металлических порошков, электромагнитная наплавка порошка, ионная имплантация и осаждение покрытия из газообразного состояния) дают возможность послойно наносить материалы с особыми свойствами и создавать поверхности изделий геометрически сложной формы. Они позволяют направленно изменять физико-механические свойства материала в зависимости от требований эксплуатации деталей в машине [5–7].

Для анализа путей интенсификации формирования структур и фаз поверхностных слоев деталей в обрабатывающей системе выделяются нестабильные переменные (температура, давление, сила тока, магнитная индукция и др.), которые подчиняют себе развитие, эволюцию стабильных в данном процессе параметров. Такой подход позволяет рассматривать любую структуру, как самостабилизирующийся энергетической обусловленностью комплекс [5]. При эволюции чередование переходов системы из устойчивого в неустойчивое состояние сопровождается сменой масштабного уровня процесса поглощения энергии и образованием диссипативных структур [6].

Для описания процессов модифицирования поверхностных слоев при воздействиях концентрированными потоками энергии исследуется открытая технологическая система с дополнительными термодинамическими степенями свободы и рассматривается формирование диссипативных структур и фаз, рассеивающих избыток подводимой энергии.

Поверхности раздела структур и градиенты свойств слоев при аддитивных синерготехнологиях, формирующих композиционный материал изделия, определяются технологическими барьерами, которые дают возможность установить граничные условия процессов послойного синтеза [8]. Условия создания слоя в высокоинтенсивных процессах целесообразно связать с особенностями конструирования формируемых оболочек изделия.

Для обеспечения высоких антифрикционных и износостойких свойств покрытий необходимо, чтобы наиболее твердые структурные составляющие с низким коэффициентом трения и малой склонностью к задирам находились в виде изолированных друг от друга включений, а наиболее вязкие – образовывать сплошную матрицу.

Для антифрикционных покрытий на основе сплавов цветных металлов были разработаны модификаторы [9] с функциональными слоями, обеспечивающими улучшенное взаимодействие модификатора с матричным материалом. Использование модификаторов позволяет формировать покрытия с более мелкозернистой структурой относительно покрытий без модификатора. При этом размер зерна матрицы уменьшается с увеличением концентрации модификатора в напыляемом слое. Установлено, что микротвердость покрытий увеличивается с увеличением содержания модификатора в покрытии и дисперсности структуры металлической матрицы. Для покрытия на основе бронзы ПРБрО10Ф1 рост микротвердости при уменьшении размера зерна метал-

лической матрицы в 3–5 раз составляет 1,5–2 раза; Так, применение разработанных наноструктурных модификаторов (шунгит, Al_2O_3 , BN, наноалмазы) в сочетании с проведенной оптимизацией процесса напыления позволяют получать градиентные покрытия на основе бронзы ПРБрО10Ф1 с микротвердостью от 500 до 1150 МПа.

В ходе испытаний полученных покрытий установлено, что добавки углеродных модификаторов способствуют повышению твердости покрытий и расширению нагрузочно-скоростных параметров стабильной работы в условиях сухого трения изделий с напыленными покрытиями (при удельных нагрузках 5,2–16 МПа и скоростях 0,3–1,5 м/с). При этом полученные композиционные покрытия на основе бронзы имеют коэффициент трения в 2–4 раза ниже, а износостойкость в 3–5 раз выше, чем образцы этих же покрытий без добавок наноструктурных модификаторов.

В результате проведенного анализа показана перспективность использования градиентных покрытий из цветных сплавов при изготовлении изделий триботехнического назначения, работающих в условиях сухого и граничного трения и повышенных механических нагрузках.

Используемые в покрытиях наноструктурные углеродные модификаторы (наноалмазы, шунгит) служат одновременно сухой смазкой, что обеспечивает высокие антифрикционные свойства формируемых покрытий, увеличивает межремонтный период и повышает эксплуатационную пригодность изделий с покрытием.

Литература

1. Чижик, С.А. Перспективы развития технологических комплексов аддитивного синтеза композиционных материалов и формообразования изделий / С.А.Чижик, М.Л.Хейфец, С.А.Филатов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2014. – № 4(29). – С. 68–74.
2. Хейфец, М.Л. Формирование свойств материалов при послойном синтезе деталей / М.Л. Хейфец. – Новополоцк: ПГУ, 2001. – 156 с.
3. Русецкий, А.М. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / А.М. Русецкий, П.А. Витязь, М.Л. Хейфец и др.; под общ. ред. А.М. Русецкого – Мн. : Беларуская навука, 2012. – 239 с.
4. Хейфец, М. Л. Моделирование процессов послойного формирования поверхностей с сопутствующей сборкой сложнопрофильных изделий / М.Л. Хейфец, С.В. Кухта, О.П. Голубев, Ж.А. Мрочек / Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2007. – № 7. – С. 11–15.
5. Хейфец, М. Л. Проектирование процессов комбинированной обработки / М.Л.Хейфец. – М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.
6. Гордиенко, А.И. Синергетические аспекты физико-химических методов обработки / А.И. Гордиенко, М.Л. Хейфец, Б.П. Чемисов и др. – Мн. : ФТИ; Полоцк: ПГУ. – 2000. – 172 с.
7. Хейфец, М.Л. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / М.Л. Хейфец, Л.М. Акулович, Ж.А. Мрочек, Е.З. Зевелева. – Новополоцк: ПГУ, 2012. – 292 с.
8. Чижик, С.А. Технологические барьеры при высокоинтенсивных воздействиях в процессах послойного синтеза и обработки материалов / С.А. Чижик, М.Л. Хейфец, С.А. Филатов // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2015. – № 3. – С. 107–113.
9. Витязь, П.А. Структурные особенности градиентных композиционных покрытий на основе меди и алюминия / П.А. Витязь, В.Т. 242.
10. Сенють, В.С. Ивашко и др. // Виброволновые процессы в технологии обработки высокотехнологичных деталей: сб. науч. тр. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2017. – С. 91–93.

Исследования поддержаны грантом БРФФИ по проекту T18P-183