

Плазменно-дуговая наплавка металлургических покрытий

И.П. Смягликов

Физико-технический институт НАН Беларуси

e-mail: ips.imaf@gmail.com

Применение плазменных покрытий позволяет значительно расширить производственные возможности вследствие получения высококачественных поверхностей и значительного снижения потребления металлов. Плазменные технологии получили широкое распространение для деталей трибомеханических систем, предъявляющих особые требования к однородности покрытия и его прочности сцепления с основой. Одним из путей улучшения параметров когезии и адгезии покрытий является повышение температуры в зоне контакта распыляемых частиц с поверхностью изделия. При этом степень нагрева частиц зависит от параметров плазмы в зоне плазменного устройства, в которую вводится распыляемый порошок.

В работах [1, 2] была показана принципиальная возможность формирования однородных металлургических покрытий с применением короткой аргоновой дуги при локализованном вводе металлических порошков в приэлектродные области разряда. Для разработки технологии потребовалось решить следующие задачи: определить параметры плазмы; измерить скорость и размер частиц в плазменном потоке; найти плотность теплового потока из плазмы к частице; определить структуру и свойства синтезируемых покрытий; установить оптимальные составы металлических порошков.

Были проведены комплексные исследования нагрева и ускорения металлических частиц в плазме короткой аргоновой дуги атмосферного давления. Методами оптической эмиссионной спектроскопии определены поля температур и концентраций электронов в плазме. Установлено, что при моделировании процесса нанесения покрытий температуру плазмы и плотность электронов можно принимать равными 15000 К и $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, соответственно

При движении в плазме вследствие интенсивного разрушения частицы окружены излучающими паровыми оболочками, поэтому выделить их собственное излучение оказывается невозможным. Для определения размеров и скоростей частиц разработан метод, основанный на регистрации их дифракционных изображений, возникающих при затенении лазерного пучка. Измерение функций распределения размеров и скорости частиц на различных расстояниях от катода показало, что частица движется в потоке плазмы с ускорением 2800 м/с^2 в течение времени $\sim 2 \text{ мс}$. Вследствие испарения до половины массы исходных металлических частиц переходит в паровую фазу, способствуя формированию плотных однородных покрытий.

Из баланса тепловых потоков на поверхности частицы с учетом данных по ее разрушению в плазме определена плотность теплового потока из плазмы, которая в рассматриваемых условиях превышает $4 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$. Расчеты плотности теплового потока к металлической частице для различных режимов

ее обтекания плазмой дают сравнимые с экспериментальными данными результаты.

Полученные результаты позволили сформулировать научные основания технологии формирования металлургических покрытий различного функционального назначения:

- для повышения тепловой эффективности процесса частицы порошковых материалов нагреваются катодной плазменной струей короткой дуги до образования жидких капель;

- значительная часть массы металлических частиц в плазме дугового канала переходит в паровую фазу, что способствует формированию металлургических покрытий;

- зоной транспортировки частиц является ламинарный поток плазмы, что предотвращает их окисление.

Оборудование для формирования металлургических покрытий включает плазмотрон с системой поджига дуги, источник питания, порошковый питатель, блок управления, а также манипулятор, обеспечивающий возвратно-поступательное перемещения плазмотрона и вращение обрабатываемой детали–электрода. Подача порошка осуществлялась кольцевым потоком в высокотемпературную область дуги на выходе из плазменного сопла плазмотрона. При этом напыляемые частицы вводились в ламинарный плазменный поток короткой аргоновой дуги атмосферного давления, чем обеспечивались оптимальные условия для их нагрева.

Для наплавки антифрикционных покрытий использовались порошки на основе оловянной или оловянно-свинцовой бронзы. Показано, что покрытие имеет структуру, характерную для литого материала. Дефекты типа трещин и раковин отсутствуют полностью. Пористость покрытия не превышает 0.5%, если принимать во внимание все поры размером более 1 мкм. Размер пор находится в диапазоне 3–10 мкм. Зона термического влияния дуговой плазмы на подложку составляет ~ 100 мкм. Переходный слой деталь–покрытие представляет собой литую бронзу с вкраплениями зерен железа размером около 10 мкм. Коэффициент трения скольжения покрытия составляет 0.05–0.2.

Для формирования износостойких покрытий используются самофлюсующиеся порошки системы железо–никель–хром–углерод. В качестве армирующей добавки использовалась фуллерен-содержащая углеродная сажа [3] в количестве от 0.1% до нескольких процентов по массе. Сажа состоит из аморфных углеродных частиц размером 20–50 нм и фуллеренов в количестве до 15%.

Покрытия системы никель–хром–углерод обладают высокой твердостью (50-53 HRC) износостойкостью, коррозионной и эрозионной стойкостью при повышенных температурах. Пористость покрытий не превышает 0.5%. Степень отклонения плотности покрытий от плотности литого материала не превышает 12%.

Более высокой твердостью (до 68 HRC) обладают покрытия, сформированные из порошкового сплава на основе железа с высоким содержанием углерода. Такие покрытия проявляют наибольшую устойчивость

к износу трением, однако значительно менее устойчивы к ударным нагрузкам. Ярко выраженный недостаток этих порошков – склонность к окислению при напылении – полностью устраняется при использовании предлагаемого метода формирования покрытий.

Наилучшими характеристиками обладают покрытия системы железо–никель–хром–углерод. Добавление никеля приводит к увеличению вязкости и пластичности сплава, однако твердость покрытия снижается (до 55–58 HRC). Применение нанодисперсной углеродной сажи в качестве армирующей добавки приводит к увеличению твердости и износостойкости результирующих композиционных покрытий при одновременном снижении вероятности возникновения трещин в наплавленных слоях. Износостойкость покрытий в 2-3 раза выше, чем закаленной углеродистой стали.

На примере износостойких и антифрикционных композиционных покрытий были определены оптимальные режимы скоростной плазменной наплавки, при которых отсутствуют термические напряжения, приводящие к трещинообразованию, и обеспечиваются наиболее высокие плотность и прочность сцепления покрытий с поверхностью стали. Разработанный способ формирования износостойких покрытий был апробирован при изготовлении подшипников скольжения, ножей кормоуборочных комбайнов, а также при изготовлении и восстановлении вырубных штампов и пуансонов.

Список использованных источников

1. Шиманович В.Д., Смягликов И.П., Золотовский А.И. Получение покрытий из порошковых материалов с применением короткой аргоновой дуги. 1. Экспериментальное изучение нагрева макрочастиц в плазме // ИФЖ, 75, № 6 (2002) 8-13.
2. Shimanovich V.D., Smyaglikov I.P., Zolotovskiy A.I. An effect of near-cathode region plasma of an argon arc on metal particles // Progress in Plasma Processing of Materials. Ed. P. Fauchais. New York: Begell House (2003) 257–262.
3. Гасенкова И.В., Смягликов И.П., Чубаренко В.А., Шиманович В.Д. Исследование фуллереносодержащих материалов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. № 9 (2002) 64–68.