

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ ПРИ КОЛЬЦЕВОЙ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЧАСТИЦ В ПОТОК ПЛАЗМЫ

В. И. Кузьмин

Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН, Новосибирск

Н. А. Руденская, А. А. Михальченко, Е. В. Картаев

Технопарк БНТУ «Политехник», Минск

Н. В. Соколова

Полоцкий государственный университет, Новополоцк

Установлено влияние скорости частиц, подаваемых в плазменный поток, вида их ввода (точечный и кольцевой), материала основы (сталь, керамика) на структуру напыленных слоев, уровень их твердости и пластичности.

Основным способом подачи обрабатываемых дисперсных материалов в поток плазмы является точечный поперечный ввод [1, 2]. Такой способ транспортировки порошков вносит существенные возмущения в несущий поток. Возникающая при этом неоднородность полей температуры и скорости в струе плазмы приводит к появлению в ее сечениях частиц, имеющих существенные отличия по тепловой и кинетической энергии. Это значительно снижает качество покрытий. Кроме того, локальный точечный ввод характеризуется предельно низким КПД [3].

В данной работе для получения осесимметричного высокотемпературного гетерогенного потока использовали узел кольцевого ввода напыляемого порошкового материала. В этом случае осесимметричный радиально сходящийся поток частиц непосредственно за зоной анодной привязки дугового разряда позволяет существенно увеличить эффективность взаимодействия потока плазмы с обрабатываемым материалом.

В отличие от точечного ввода кольцевой ввод с газодинамической фокусировкой обеспечивает плотный осесимметричный гетерогенный поток. При оптимальном режиме все частицы порошка должны проходить через высокотемпературную и высокоскоростную приосевую область плазменной струи.

В качестве исходного порошка использовали оксид алюминия Al_2O_3 дисперсностью 40 мкм. Порошок наносили на стальные и керамические образцы, применяя при этом два вида ввода частиц в плазменный поток – точечный (режимы 3.1 – 3.3) и кольцевой (2.1 – 2.3) с различными режимными условиями (при переходе от режима 1 к режиму 3 повышали расход плазмообразующего газа).

Сравнительный металлографический анализ напыленных слоев показал, что покрытия характеризуются высоким качеством границы раздела с основным металлом (рис. 1), на границе раздела отсутствуют поры.

Структура полученных покрытий – двухслойный композит (см. рис. 1). Нижний слой композита белого цвета представляет собой подслой в виде Ni-Al. Установлено, что при переходе от режима 2.1 до 2.3 прослеживается оплавление крупных включений и их деформация (рис. 2). Крупные включения подслоя в режимах 3.1 – 3.3 подвергаются оплавлению, а в режиме 3.2 еще и деформируются, но менее интенсивно, чем в режиме 2.3.

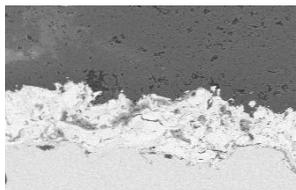


Рис. 1. Микроструктура покрытия – двухслойного композита, напыленного на стальную подложку ($\times 200$).

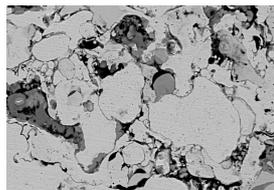
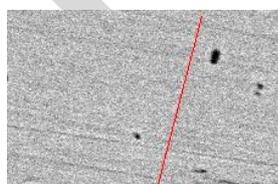


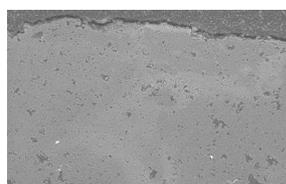
Рис. 2. Микроструктура подслоя ($\times 2000$)

Из этого явствует, что при кольцевом вводе порошка в плазменный поток оплавление с деформированием достигается при реализации режима 2.3. В случае точечного ввода напыляемых частиц похожее качество подслоя, но с меньшей деформацией крупных частиц, обеспечивается в режиме 3.2. Если учесть, что материал подслоя наносили в одном режиме с точечной подачей порошка в плазменный поток, то изменение структуры подслоя, зафиксированное на крупных включениях, обусловлено не чем иным, как воздействием керамических частиц основного слоя покрытия. Попадая в высокотемпературную зону струи и приобретая высокие скорости, частицы оксида алюминия способствуют нагреву материала подслоя и деформации отдельных включений.

Металлографическими исследованиями структуры основного (серого) слоя покрытий установлено, что это плотные (с пористостью менее 2 %), имеющие композиционное строение, слои (рис. 3).



a)



б)

Рис. 3. Микроструктура основного слоя покрытия : *a* – $\times 3000$, *б* – $\times 500$

При малом расходе плазмообразующего газа часть порошка транспортируется в низкотемпературные области плазменной струи, поэтому независимо от вида ввода частиц в плазменный поток на образцах, напыленных в режимах № 1, появляются продольные зоны несплавления, образование которых объясняется наличием недостаточно нагретых частиц.

Вид транспортировки частиц в плазменный поток оказывает влияние на форму и размеры зон несплавления: при точечном вводе порошков толщина таких зон в 3 – 4 раза больше, чем при кольцевом вводе. При режимных параметрах № 2 и № 3 описанные выше дефекты отсутствуют, покрытия характеризуются высоким качеством. Оптимальным по качеству и свойствам следует считать покрытие, полученное при режимных параметрах 2.2.

Композиционное строение верхней части – основного слоя покрытий заключается в следующем: в матричном материале равномерно распределены области в виде скоплений мелких включений. Самые крупные по размеру такие области расположены преимущественно вблизи границы основного слоя покрытий с подслоем; при переходе к свободной поверхности покрытий уменьшается их размер и количество. Здесь надо отметить, что минимальное количество областей скоплений мелких включений с минимальным их размером обнаружено при режиме 2.2.

В целом, именно при кольцевом вводе частиц в поток плазмы обнаружено меньшее количество таких областей. Во всех образцах мелкие включения в областях их скоплений характеризуются неправильной формой, при режиме 2.2. большая их часть оплавлена, что также свидетельствует о более высокой интенсивности нагрева подаваемых в плазму частиц порошка в условиях данного режима.

Микродюрметрические исследования показали, что в результате кольцевого ввода частиц в плазменный поток формируются более пластичные покрытия, так как только при режиме 2.3 зафиксировано появление незначительного количества микротрещин возле отпечатка индентора. Самое твердое и одновременно пластичное покрытие получено в режиме 2.2. Это можно объяснить более равномерным нагревом частиц в плазменном потоке, то есть более высокой вероятностью попадания их в центральную (высокотемпературную) зону струи.

Таким образом, оптимальным по параметрам нанесения покрытий является режим 2.2; именно в таких условиях сформировано покрытие на керамической подложке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Beretta F.E., Vassallo E. Design criteria for integrated injection systems in a d.c. plasma source / F.E. Beretta, E. Vassallo // Proc. 14th Int. Symposium on Plasma Chemistry. – Prague, Czech Republic, 1999. – Vol V. – P. 2429 – 2434.
2. Fauchais P. Understanding Plasma Spraying /P. Fauchais // J. Phys. D Appl. Phys., 2004. – 37(9). – P. 86 – 108.
3. Клубникин, В.С. Электротермические плазменные устройства и процессы напыления порошковых материалов: дисс. д-ра. техн. наук: 05.20.03 / В.С. Клубникин. – Ленинград, 1985. – 447 с.