

защиты конструкционных материалов от воздействия высокотемпературных газовых потоков. Покрытия напылялись на бронзу БрХ08, стали Х12Н10Т и 12Х2НВФА, сплав АМг6М.

Исследовалась зависимость прочности сцепления покрытий от подготовки напыляемой поверхности и энтальпии струи. Поверхность подложки обрабатывалась электрокорундом зернистостью 50, 80 и 120 при различных давлениях сжатого воздуха. В качестве промежуточного подслоя при напылении  $ZrO_2$  на бронзу БрХ08 применялись вольфрам и сплав ВЖ98, при напылении  $Al_2O_3$  на стали, и АМг6М — молибден.

Установлено, что с увеличением зерна абразива с 0,5 мм до 1,2 мм и давления воздуха с 3,0 до 5,0 ат прочность сцепления покрытия из  $ZrO_2$  с БрХ08 возрастает примерно вдвое. Прочность сцепления покрытий, напыленных с подслоем, как правило, выше, чем без подслоя, однако при обработке поверхности подложки крупным абразивом это различие уменьшается.

Влияние нагрева подложки на прочность сцепления покрытия изучалось при напылении  $Al_2O_3$  азотной плазмой на сталь 12Х2НВФА. Установлено, что перегрев подложки в процессе напыления до 500°C не только не снижает прочности сцепления покрытия, но приводит к ее росту на 40—50%.

С увеличением энтальпии струи прочность сцепления покрытий возрастает. При оптимальных условиях напыления прочность сцепления покрытий из  $ZrO_2$  и  $Al_2O_3$  с БрХ08 и сталями составляет 100—130 кг/см<sup>2</sup>, менее прочную связь покрытия имеют со сплавом АМг6М. Одной из причин, ограничивающих получение покрытий с более прочной связью с основой, является осаждение на поверхность основы периферийных частиц, имеющих малый запас тепла и низкую пластичность. Показано, что прочность сцепления покрытия из  $ZrO_2$ , напыленного без подслоя на сталь 12Х2НВФА с использованием экрана, выделяющего центральную часть потока частиц, достигает 200—220 кг/см<sup>2</sup>. Однако применение экрана снижает коэффициент использования напыляемого материала.

Разработан способ напыления покрытий струей со спутным потоком газа. Применение спутного потока позволяет увеличить размеры высокотемпературного участка плазменной струи и интенсифицировать нагрев частиц. Прочность сцепления покрытия из  $ZrO_2$ , напыленного без подслоя на сталь 12Х2НВФА указанным способом, возрастает до 180—190 кг/см<sup>2</sup>, одновременно увеличивается коэффициент использования материала.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что покрытия из  $ZrO_2$  и  $Al_2O_3$  с высокой прочностью сцепления могут быть получены за счет рациональной подготовки поверхности подложки, применения режимов и способов напыления, обеспечивающих наиболее эффективный нагрев частиц напыляемого порошка.

Ф. И. Китаев, Ю. Г. Лекарев, А. Г. Цидулко

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АЗОТНОЙ ПЛАЗМЫ НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА НАПЫЛЕНИЯ ДВУОКСИ ЦИРКОНИЯ

Основными показателями процесса плазменного напыления, характеризующими его эффективность, являются производительность, коэффициент использования напыляемого материала и свойства полученного покрытия.

Настоящая работа посвящена исследованию зависимости показателей процесса напыления  $ZrO_2$  от параметров азотной плазменной струи. К таким параметрам относятся энтальпия струи и ее скорость, определяемые мощностью дугового разряда и расходом плазмообразующего газа.

Состояние частиц  $ZrO_2$  в момент встречи с основой зависит от интенсивности и длительности процесса теплообмена, протекающего между частицами и газом в высокотемпературном участке струи. Анализ зависимости коэффициента теплообмена между частицами порошка и струей плазмы от температуры показал, что коэффициент теплообмена, начиная с температуры  $4500^\circ K$ , резко возрастает, достигает максимального значения при температуре  $\sim 7000^\circ K$ , после чего снижается. Такое изменение коэффициента теплообмена объясняется характером изменения теплопроводности азота в рассматриваемом интервале температур, что обусловлено его диссоциацией. Таким образом, процесс переноса тепла от плазмы к частицам протекает наиболее интенсивно при температуре плазмы  $6500\text{—}7000^\circ K$ ; этому температурному интервалу соответствует энтальпия плазмы, равная  $18 \cdot 10^6\text{—}25 \cdot 10^6$  дж/кг.

Так как двуокись циркония имеет высокую температуру плавления, сравнительно высокую теплоемкость и очень низкую теплопроводность, следует ожидать, что режим напыления, при котором температура азотной плазмы составляет  $6500\text{—}7000^\circ K$ , должен быть близок к оптимальному.

В работе приводятся результаты исследования зависимости коэффициента использования порошка  $ZrO_2$ , прочности сцепления напыленного покрытия с основой и плотности покрытия от среднемассовой энтальпии азотной плазмы на срезе сопла. При напылении мощность дугового разряда изменялась от 21,8 до 36,5 кВт, расход азота от  $1 \cdot 10^{-3}$  до  $1,4 \cdot 10^{-3}$  кг/сек. Результаты исследований показали: 1) с увеличением энтальпии азотной плазмы с  $12 \cdot 10^6$  до  $19 \cdot 10^6$  дж/кг коэффициент использования  $ZrO_2$  и производительность процесса повышаются на 40—50%, прочность сцепления покрытия с основой — на 30—32%, плотность покрытия — примерно на 6%; 2) максимальных значений коэффициент использования порошка и прочность сцепления покрытия с основой достигают при энтальпии плазмы, равной примерно  $18 \cdot 10^6$  дж/кг, после чего остаются постоянными.

Длительность пребывания частиц в высокотемпературном участке струи зависит от скорости струи, которая при прочих равных условиях пропорциональна расходу плазмообразующего газа. Исследовалось влияние расхода азота на эффективность использования порошка  $ZrO_2$  при постоянной среднемассовой энтальпии струи на срезе сопла ( $18 \cdot 10^6\text{—}19 \cdot 10^6$  дж/кг). Установлено, что увеличение расхода азота выше  $1,18 \cdot 10^{-3}$  кг/сек (60 л/мин) приводит к резкому снижению коэффициента использования материала.

По результатам исследований определены оптимальные параметры режима напыления  $ZrO_2$  азотной плазменной струей.

Л. А. Дударь, В. М. Воронов

## К ВОПРОСУ О МАГНИТНОМ ДАВЛЕНИИ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СВАРКЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛЕНТ ВСТЫК

Для характеристики режимов стыковой радиочастотной сварки необходимо знание таких параметров процесса, как величина тока, на-