

# СВЕРХЗВУКОВОЕ ВОЗДУШНО-ГАЗОВОЕ ПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ КЕРМЕТНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ «КАРБИД-НИХРОМ»

**Борисов Ю.С., Борисова А.Л., Коломыцев М.В., Вигилянская Н.В.,  
Масючок О.П., Милованов А.А.**

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины 0360 Украина, Киев-150, ул.  
Боженко 11, E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)

Представлены результаты исследования структуры и свойств покрытий, полученных методом сверхзвукового воздушно-газового плазменного напыления из механической смеси порошков двойного карбида титана-хрома (Ti,Cr)C с нихромом.

Твердый раствор карбида хрома в карбиде титана является весьма перспективным материалом для плазменного напыления износостойких высокотемпературных покрытий, поскольку в нем высокая твердость сочетается с большей по сравнению с чистым TiC устойчивостью к окислению, а значения коэффициентов термического расширения близки к значениям такового для стали. Использование сверхзвуковых газовых струй при плазменном напылении в свою очередь позволяет повысить все служебные характеристики покрытий по сравнению с дозвуковыми методами.

В качестве исходных материалов для нанесения покрытий использовали порошок (Ti,Cr)C, полученный методом СВС из смеси титана, хрома и сажи, взятых в соотношении TiC : Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> = 7 : 3 и порошок нихрома Х20Н80. Рентгеноструктурным фазовым анализом (РСФА) было установлено, что двойной карбид титана-хрома представляет собой смесь двух однофазных твердых растворов хрома в решетке карбида титана, о чем свидетельствует раздвоение линий отражения на малых углах рентгенограммы. Химическую неоднородность порошка в объеме отдельных частиц подтвердили и результаты металлографического анализа. Причина данного явления в сложности и многоступенчатости механизма СВС.

Для нанесения покрытий использовали смесь из 75 мас.% (Ti,Cr)C ( $d_n = 15 - 40$  мкм) и 25 мас.% нихрома ( $d_n = 40 - 63$  мкм). Покрытия наносили на установке воздушно-газового плазменного напыления в соответствии с матрицей

планирования дробного факторного эксперимента (ДФЭ)  $2^{3-1}$ . Изменяемыми параметрами напыления являлись: мощность плазмотрона  $W$  (80 - 90), кВт, расход плазмообразующего газа  $G_{\text{возд}}$  (18 - 26) м<sup>3</sup>/ч, дистанция напыления  $L$  (160 - 200), мм. Покрытия наносили на стальную основу с применением анодов различного диаметра (10, 11 мм), порошок в плазменную струю вводили в канал сопла.

Металлографические исследования показали, что при всех режимах напыления формируются покрытия с тонколамельярной структурой, состоящие из металлической нихромовой матрицы с твердыми карбидными включениями. Микротвердость как металлической матрицы, так и карбидных включений в зависимости от режима напыления изменяется в довольно широких пределах от 4000 до 6000 и от 15000 до 22000 МПа соответственно.

РСФА показал, что в покрытиях также как и в исходном порошке присутствуют 2 состава (Ti,Cr)C с разными соотношениями Cr/ Ti. Кроме того на дифрактограммах покрытий, полученных при использовании анода диаметром 11 мм обнаружены отражения от карбидов Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> (более мягкий) или Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> (более жесткий) режим. Аналогичная картина наблюдается для покрытий, полученных при использовании анода диаметром 10 мм с тем отличием, что в этом случае отмечается некоторое уширение рентгеновских линий (более выраженная степень аморфизации либо напряженность решетки). На всех дифрактограммах отмечено присутствие сложных оксидов CrTiO<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>NiO<sub>4</sub> и др.

По результатам обработки данных ДФЭ был выбран оптимальный режим напыления покрытия:  $W = 80$  кВт,  $P_{\text{возд}} = 3,0$  атм., дистанция напыления  $L = 180$ , диаметр анода  $d_a = 10$  мм.