

СТРУМІНЬ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПЛАЗМИ

Крахмальов О.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Найбільш сучасним і універсальним джерелом нагрівання та прискорення частинок матеріалу, який утворює покриття, є струмінь низькотемпературної плазми. Він утворюється нагріванням за допомогою електричної дуги плазмотворювального газу, який, обдуваючи дугу і проходячи крізь неї, підвищує свою температуру, змінює склад, дисоціює та іонізує.

Для нанесення покриттів використовується низькотемпературна плазма, яка формується, зазвичай, при атмосферному тиску і є високо нагрітим газом із відносно невисоким ступенем іонізації. Крім електронів і іонів в плазмі є також неіонізовані атоми і молекули. До низькотемпературної плазми відносять речовину з температурою $T = 10^3 - 10^5$ К і ступенем іонізації 2 – 20 %.

Перевагою атмосферної низькотемпературної плазми є високі технологічні властивості, які визначаються значною ентальпією і добрими переносними властивостями плазми, тобто здатністю передавати температуру і кінетичну енергію частинками матеріалу, що напилюється. Середня кінетична енергія електронів, іонів і нейтральних молекул у плазмі різна. Тому розрізняють температуру електронів, температуру іонів і атомну температуру.

Внаслідок істотної різниці мас електрона та іона легкий електрон передає важкому іону лише невелику частину своєї кінетичної енергії і відскакує від нього. Для повної передачі енергії електрон повинен багато разів зіткнутися з іоном. Одночасно електрон отримує енергію від джерела електричного струму.

У стовпі дуги високого (атмосферного) тиску електронна та іонна температури близькі одна до одної, оскільки в умовах щільного газу спостерігаються часті зіткнення між електронами та іонами, які вирівнюють їх температуру, тобто умови існування дугової плазми близькі до умов локальної термодинамічної рівноваги. У дуговому розряді загальна кількість іонів дорівнює загальній кількості електронів при однократній іонізації, оскільки ці частинки отримуються з нейтральних в однаковій кількості. У загальному випадку існують процеси, які призводять до перевищення кількості заряджених частинок одного знака над частинками іншого знака в окремих малих об'ємах газу. Але практично завжди дуговий розряд є квазінейтральним, тобто локальні концентрації іонів і електронів близькі.

Струмінь плазми, який генерується плазмотронами, дуже неоднорідний і має складну структуру. В загальному випадку всі існуючі потоки реального газу поділяються на ламінарні і турбулентні. На зрізі сопла плазмотрона течія може бути ламінарною ($Re < 100 - 250$) і турбулентною ($Re > 300 - 800$). На дистанціях від зрізу сопла, які становлять інтерес з точки зору напилення (100 – 300 мм), потоки дуже часто виявляються турбулентними.