

УДК 621.793.7:533.924

Єршов А.В.¹, Зеленіна О.А.²

¹ д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

² старш. лаб. НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОД УСУНЕННЯ РОЗТРИСКУВАННЯ ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ

Осадження плазмового покриття на поверхню призводить до виникнення температурної нерівномірності в поверхневій зоні підкладки і в шарі сформованого покриття. При охолодженні деталі зазначена температурна нерівномірність призводить до появи залишкових термічних напружень, величина яких може бути порівнянна з межею міцності покриття. У цьому випадку навіть невеликий зовнішній вплив призводить до руйнування покриття і до втрати працездатності деталі та приладдя в цілому. Тому дослідження термічних напружень є актуальною проблемою.

Дослідженню цієї проблеми присвячена велика кількість робіт. Однак у цих роботах, в основному, наводяться експериментальні результати без конкретних рекомендацій щодо зміни технологічних режимів з метою зниження термічних напружень. Відсутні моделі впливу швидкості переміщення плазмового джерела на величину термопружних напружень у покритті.

При осаженні покриття на нагрітій поверхні можна знехтувати макронапруженнями в поверхневому шарі, оскільки зчеплення частинок покриття відбувається при відсутності істотних механічних впливів. Однак при охолодженні покриття на жорсткій підкладці в ньому виникають розтягуючі термічні напруження, пропорційні температурі поверхні в момент осаження покриття. Величина окружних розтягуючих термонапружень для кільцевого покриття визначиться залежно від температури нагріву, аналогічно моделі жорстко закріпленого стержня:

$$\sigma_t = E\alpha t = E\alpha\left(\frac{q}{2\lambda}\delta + 120\right) = 2,1 \cdot 10^2 q / \sqrt{v} + 94 \cdot 10^6, \text{Па}, \quad (1)$$

де $E = 0,6 \cdot 10^{11}$ Па – модуль пружності покриття, $\alpha = 1,3 \cdot 10^{-5}$ К⁻¹ – коефіцієнт термічного розширення, t – температура покриття.

Попередньо проведені експерименти показали, що міцність покриття на розрив дорівнює $B\sigma = PL/W = 192$ МПа, де P – поперечна згинальна сила, L – довжина консольного зразка, W – момент опору поперечного перерізу. Термічне напруження, при якому відбувається руйнування напиленого шару, дорівнює напруженню розриву $B\sigma = B\sigma_{\max}$ і виникає при параметрах плазмотрона: напрузі 50 В, струмі дуги 450 А і швидкості плазмотрона $v = 0,58$ м/с, товщині напиленого шару 1,5 мм. Тоді залежність термічного

напруження σ_t від напруження розриву σ_B і швидкості плазмотрона визначиться відповідно до формули

$$\sigma_t = (\sigma_B - 94 \text{ МПа}) \sqrt{\frac{0,58}{v}} + 94 \text{ МПа}. \quad (2)$$

Несуча здатність при розтягуванні покриття на підкладці визначиться як різниця між міцністю покриття за відсутності внутрішніх напружень σ_B і величиною розтягувального термічного напруження σ_t :

$$\sigma = \sigma_B - \sigma_t \quad (3)$$

Розрахунок температури поверхні покриття, термічного напруження, несучої здатності при розтягуванні покриття на підкладці з жароміцної сталі ЭИ 961 та товщини температурного поля в покритті наведені у табл.1 залежно від швидкості плазмотрона.

Таблиця 1 – Залежність характеристик покриття від швидкості плазмотрона при температурі підкладки 120⁰С

v , м/с	0,58	1,16	1,74	2,32	2,90
δ , 10 ⁻³ м.	0,68	0,49	0,39	0,34	0,30
t , °С	244	208	192	182	175
σ_B , МПа	192	164	151	143	137
σ_t , МПа	0	28	41	49	55

Як видно з табл.1, збільшення швидкості і переміщення плазмотрона удвічі призводить до зниження термічного напруження на 15% і підвищення несучої здатності покриття на 28 МПа. Експериментально показано, що при такій зміні режиму наплення термічні напруження зменшуються і вже не призводять до розриву покриття.

Висновки.

1. Показано, що зі збільшенням швидкості переміщення плазмотрона відносно деталі монотонно зменшується температура поверхні і глибина зони нагріву покриття. Збільшення швидкості переміщення плазмотрона знижує термічні напруження і підвищує несучу здатність покриття на підкладці.

2. Отримані залежності дозволили вдосконалити технологію і усунути розтріскування покриття на опорній поверхні соплового апарата авіаційного двигуна Д-36. Метод втілено у виробництво на підприємстві АТ «Мотор Січ» з очікуваним річним економічним ефектом 322,025 тис. грн.