

УДК 621.762.793:669.15

Кононов В.В.¹, Махінов Ф.К.²

¹ канд. техн. наук, доцент НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. М-311 НУ «Запорізька політехніка»

НАДІЙНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ ГТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

Захисні покриття призначені не лише для підвищення робочих температур лопаток турбіни, які визначаються жароміцністю вживаних для їх виготовлення сплавів, а і для збільшення ресурсу і надійності роботи лопаток. Застосовуються вони вже більше 50 років. На першому етапі найбільшого поширення набули алюмінідні покриття. Просте алітування робочих і направляючих лопаток турбін дозволило збільшити ресурс газотурбінних двигунів приблизно в два рази при температурі 850 °С . Проте, ці покриття ефективні лише при такому типі корозії як високотемпературне окислення за рахунок утворення бар'єрного шару з оксиду алюмінію. Використання низькосортного палива різко знижує їх ефективність.

Алюмінідні покриття, леговані хромом, кремнієм, танталом, ніобієм і іншими елементами володіють вищою корозійною стійкістю в порівнянні з простим алітуванням, а також перевершують їх по термостабільності, пластичності і термосталостній міцності. Наносять їх на лопатки різними методами: дифузійним (у порошках з галогенідними активаторами і у вакуумі), шлікерним, металізацією і ін. Товщина їх знаходиться в межах

40...100 мкм. Ці покриття ефективні при використанні в газових турбінах високоякісного палива. В умовах інтенсивної окисульфідної корозії термін служби їх невеликий, оскільки інтерметаліди нікелю нестійкі у контакті з сульфатом натрію і в його суміші з хлоридом натрію.

Широкого поширення за кордоном набули алюмінідні покриття з підшаром з дорогоцінних металів (наприклад, платини або родію). До них можна віднести такі покриття, як LDC - 2, RT - 22, RT - 22A, RT - 44 і ін. Вони характеризуються високою стійкістю проти окисульфідної корозії. Товщина цих покриттів складає 70...80 мкм, основа NiAl, що містить алюмінід платини PtAl₂. Оскільки покриттям типу LDC - 2 властива пористість платинового шару, можливість концентрації забруднень на кордоні платини з підкладкою, розроблені вдосконалені покриття на їх основі JML - 1 і JML - 2. Шари платини, що входять в їх склад, формують з розплаву солей.

Поряд з алюмінідними застосовують і силіцидні покриття. Використовуються вони, в основному, в турбінах малої потужності з робочою температурою до 730 °С. Характеризуються вони великою крихкістю силіцидного шару, низькою температурою плавлення (985 °С) евтектики, що утворюється силіцидами нікелю, поганою термосталістю, погіршенням механічних властивостей основного металу через дифузію в нього кремнію. В зв'язку з цим вони модифікуються хромом і танталом.

Широке розповсюдження в газотурбобудуванні знайшли покриття, що отримуються осадженням у вакуумі. Вони відрізняються незалежною від підкладки, що захищається, структурою, володіють кращою жаростійкістю і особливо корозійною стійкістю, можливістю в широких межах варіювати їх хімічний склад, добиваючись мінімальної внутрішньої напруги на кордоні розділу покриття - основа.

Вдосконалення корозійних властивостей електронно-променевих покриттів здійснюється за рахунок ускладнення їх хімічного складу шляхом введення добавок кремнію, титану, платини, гафнію, танталу та ін. Композитні покриття, наприклад: двошарове, отримуване на початку шляхом електронно-променевого напилення шару Co - Cr - Al - Y (АТД - 2) завтовшки 100...140 мкм з подальшим його платинованням (товщина шару 4...8 мкм) гальванічним методом і відпадом при температурі 1080 °С протягом 4 годин у вакуумі або електронно-променеве нанесення сплаву Co - Cr - Al - Y, а потім - катодне напилення платини; двошарове із зовнішнім шаром, збагаченим кремнієм (10...50 мас. %), перший шар якого наноситься електронно-променевим методом Me - Cr - Al - Y (Hf) з подальшим нанесенням тим же або дифузійним методом шару кремнію.

Для надійного захисту зовнішньої поверхні робочих лопаток ефективно використовуються електронно-променеві покриття типу Co - Cr - Al - Y.

Проте, технологія їх нанесення не дозволяє наносити захисне покриття на вузькі внутрішні канали деталей. Тому як альтернативні тут можуть бути вибрані захисні покриття, а отже, і технологія їх нанесення, яка б дозволила їх повільне поєднування. В зв'язку з цим шлікерна (суспензійна) технологія нанесення захисних покриттів на внутрішню порожнину лопаток ГТУ має переваги перед іншими відомими способами, такими, наприклад, як нанесення покриттів з газової фази, в засипці з порошків.

В даний час двосторонній захист робочих лопаток ГТУ здійснюється за комплексною технологією, розробленою спільно з ІЕС ім. Е.О. Патона. Показано, що формування термодинамічно стабільних покриттів в складній багатокомпонентній системі ЖС - Пк (Cr - Al - Si - Ti) найефективніше здійснюється при температурі рівній або більшій температури перитектичної реакції (≈ 1130 °C). Показано, що при відносно нижчих температурах формування покриття (1080 °C, 4 годин), структура шлікерного покриття значно відрізняється від аналогічних з гетерогенною структурою і повністю відповідає класичній типу RT-22A. Встановлено, що міцнісні характеристики жароміцних сплавів при використанні комплексної технології захисту при температурах 800 і 850 °C не знижуються. Підвищення жаростійкості обумовлене сприятливим поєднанням компонентів і досконалою структурою покриття. Шлікерні покриття Cr - Al - Si - Ti з гетерогенною структурою шару ("високотемпературні") мають більш високу стійкість, ніж "низькотемпературні". Прогнозований термін служби робочих лопаток збільшується на 10 тис. годин при використанні двостороннього їх захисту за комплексною технологією.