**Рудой Юрій Ернстович. Розробка градієнтних теплозахисних покриттів та електронно-променевої технології їх осадження на лопатки газових турбін : дис... канд. техн. наук: 05.16.07 / НАН України; Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона. - К., 2005.**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Рудой Ю.Е. “Розробка градієнтних теплозахисних покриттів та електронно-променевої технології їх осадження на лопатки газових турбін”.  Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.07 «Металургія високочистих металів і спеціальних сплавів». Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ 2005.  Визначено умови осадження на підкладці теплозахисного покриття із градієнтом хімічного складу й структури по товщині із зовнішнім керамічним шаром шляхом електронно-променевого випару суміші металів (сплавів) і оксидів з різним тиском пари при температурі випару у вигляді спресованої таблетки, розташованої на торці керамічного злитка з диоксиду цирконію.  Представлено результати дослідження структури й властивостей градієнтних теплозахисних покриттів метал-кераміка з перехідною зоною на базі систем Al-ZrO2(Y2O3), Al-Pt-ZrO2(Y2O3) і Al-Y-ZrO2(Y2O3), отриманих одностадійним процесом нанесення. Оптимізація хімічного складу таблетки, що випаровують, дозволяє отримувати градієнтне теплозахисне покриття з високою термоциклічною довговічністю на повітрі.  Розглянуто механізм формування градієнтних структур, яки отримують шляхом електронно-променевого випару композиційного керамічного злитка на основі диоксиду цирконію на підкладках з жароміцних сплавів. Представлено результати досліджень структури й властивостей рекомендованих градієнтних теплозахисних покриттів NiCoCrAlY+AlCr/ZrO2(7Y2O3) і MexCy+NiAl/ZrO2(7Y2O3), які осаджують із парової фази по одностадійній електронно-променевій технології на лопатки газових турбін. | |
| |  | | --- | | 1. На підставі проведених досліджень доведена можливість осадження на жароміцних сплавах градієнтних теплозахисних покриттів з металевим або металокерамічним сполучним шаром і зовнішнім керамічним шаром за один технологічний цикл шляхом електронно-променевого випару з одного джерела сполучень металевих і неметалічних компонентів з різним тиском пари при температурі випару, виготовлених у вигляді металокерамічних таблеток або композиційних злитків. 2. Показано, що конденсація алюмінію при випарі металокерамічних таблеток складу Al-ZrO2(Y2O3), Al-Y-ZrO2(Y2O3), Al-Pt-ZrO2(Y2O3) і вставок композиційного злитка AlCr та NiAl відбувається за схемою “пар-рідина-тверда фаза” з формуванням на підкладці з жароміцного сплаву сполучного шару на основі алюмініду нікелю при температурах конденсації Тк = 850...1050С. 3. Встановлено, що при термоциклічних випробуваннях на повітрі за режимом 50«1135С, 1 цикл – 1 година, градієнтних теплозахисних покриттів, отриманих випаром металокерамічних таблеток системи Al-Y-ZrO2(15Y2O3) зі змістом алюмінію від 3 до 20% ваг. найбільша довговічність отримана для складів 6Al-0,2Y-93,8ZrO2(15Y2O3) та 13Al-0,2Y-86,8ZrO2(15Y2O3). 4. Розроблено циклограму процесу випару металокерамічних таблеток системи Al-Y-ZrO2(15Y2O3) і оптимальний температурний режим осадження за один технологічний цикл металевого сполучного шару при 950…1000С, перехідної зони при 1000…1050С і зовнішнього керамічного шару ZrO2(7Y2O3) при 830…850С градієнтного теплозахисного покриття NiCoCrAlY / 6Al-0,2Y-93,8ZrO2(15Y2O3) / ZrO2(7Y2O3). 5. Для осадження на жароміцні сплави ЭИ848, PWA1480, Inconel738 й GTD111 рекомендуються градієнтні теплозахисні покриття з металевим сполучним шаром Ni20Co20Cr12Al0,3Y товщиною 80…100 мкм, перехідними зонами 6Al-0,2Y-93,8ZrO2(15Y2O3) і 13Al-0,2Y-86,8ZrO2(15Y2O3) товщиною 5…6 мкм і зовнішнім керамічним шаром ZrO2(7Y2O3) товщиною 120..150 мкм. 6. Встановлено, що при випарі верхніх вставок композиційного злитка, що містять 0,5…3 г антрацену, відбувається утворення перехідної зони товщиною 3…5 мкм, що містить карбіди W й Cr на поверхні розділу жароміцний сплав / сполучний шар у градієнтних теплозахисних покриттях складів MеxCy+NiAl/ZrO2(7Y2O3) і MеxCy+NiCrAl/ZrO2(7Y2O3). 7. Використання оксидів HfO2 й Gd2O3 як нижніх вставок композиційного керамічного злитка дозволяє ефективно вирішити завдання одержання покриттів з регульованою структурою та властивостями зовнішнього керамічного шару. 8. Термоциклічна довговічність на повітрі при 50«1150С градієнтних теплозахисних покриттів NiCoCrAlY+AlCr/ZrO2(7Y2O3) і MеxCy+NiAl/ZrO2(7Y2O3) на жароміцних сплавах ЖС32, CMSX4 й Rene142 перевершує довговічність стандартних теплозахисних покриттів NiCoCrAlY/ZrO2(7Y2O3) в 1,5…2 рази. 9. Для охолоджуваних повітрям лопаток газотурбінних двигунів з жароміцних термостабільних сплавів останніх поколінь Rene5, CMSX4 й Rene142 пропонується теплозахисне градієнтне покриття з металевим шаром на основі алюмініду нікелю MеxCy(5…8 мкм)+NiAl(30…50 мкм) / ZrO2(7Y2O3)(150…250 мкм), що осаджується за один технологічний цикл із використанням композиційного злитка та наступним відпалом у вакуумі при 1100С, 1 година. 10. Для захисту жароміцних сплавів ЖС26, ЖС32, PWA1480 з підвищеним змістом титану, танталу, гафнію й вуглецю рекомендується теплозахисне градієнтне покриття Ni20Co20Cr12Al0,3Y(80…100 мкм)+AlCr(20…40 мкм) / ZrO2(7Y2O3)(150…250 мкм) у якому сполучний шар NiCoCrAlY, перехідна зона AlCr, сформована випаром вставок композиційного злитка, а також зовнішній керамічний шар ZrO2(7Y2O3) осаджуються за один технологічний цикл із наступним відпалом у вакуумі при 1100С, 1 година. 11. На підставі отриманих результатів розроблена електронно-променева технологія нанесення градієнтних теплозахисних покриттів на лопатки ГТД із використанням композиційного злитка, що дозволяє в 2 рази підвищити продуктивність процесу осадження покриттів. | |