

LATVIJAS JŪRAS AKADĒMIJA

9. starptautiskā konference

UDENS TRANSPORTS
UN INFRASTRUKTURA
2007

9th International Conference

MARITIME TRANSPORT
AND INFRASTRUCTURE
2007

RĪGA,
2007. GADA 19.-20. APRĪLIS

GĀZES TURBĪNU SPĒKIEKĀRTU DETAĻU KARSTUMIZTURĪBAS PALIELINĀŠANA AR KOMBINĒTO JONU PLAZMAS IZSMIDZINĀŠANU

HEAT RESISTANCE IMPROVEMENT OF GAS TURBINE POWER PLANT PARTS BY COMBINED ION-PLASMOUS SPUTTERING

**Aleksandrs Urbahs, Konstantīns Savkovs, Dmitrijs Kozačenko,
Margarita Urbaha, Zoja Smorodova, Uldis Grāvītis**

Rīgas Tehniskā universitāte, Kaļķu iela 1, LV-1658, Latvija,
E-pasti: Aleksandrs.Urbahs@rtu.lv;
sakon@inbox.lv; Kozacenko@rtu.lv; Margarita.Urbaha@rtu.lv;
Zoja.Smorodova@rtu.lv; Uldis.Gravitis@rtu.lv

Anotācija

The work represents the results of the experiments associated with the development of a fundamentally new composite intermetallic ceramic coating for hot section parts of gas turbine engines. It was determined that the combination of arc-jet and magnetron methods gives opportunity to expand the scope of sputtering when creating heat-resistant coatings in vacuum. In such a way obtained coating differs by the absence of a "drop" phase and, subsequently, by higher thickness and smoothness. In such a case, the best coating properties can be achieved by separate gas feeding into working chamber.

Ievads

Galvenā gāzes turbīnu dzinēju funkcionālo iespēju uzlabošanas tendence ir pastāvīga temperatūras paaugstināšana pie ieejas turbīnā. Tāpēc pats svarīgākais uzdevums ir gan jaunu materiālu radīšana dzinēju karsto daļu detaļu izgatavošanai, gan arī speciālo karstumizturīgo pārklājumu izveide. Pie tam vajadzētu ņem vērā, ka vislielāko ietekmi uz detaļu (turbīnu lāpstiņām un diskām, sadegšanas kameru sprauslām utml.) ilgizturību rada materiāla oksidēšanas procesi, abpusēja sakausēšanas elementu difūzija un augstas temperatūras gāzes korozija, kas rodas virsmas un gāzes fāzē izšķīdināto slāņu mijiedarbības rezultātā. Lai maksimāli samazinātu materiāla detaļu oksidēšanas un korozijas ātrumu, kā arī difūzijas kustīgumu, ir nepieciešams izveidot speciālu pārklājumu, kam bez pamatīpašībām (cietība, nodilumizturība, adhēzijas stiprība attiecībā pret pamatmateriālu utml.) piemīt arī diezgan liels blīvums. Šāda veida „necaurlaidīgais” pārklājums ļaus ievērojami palēnināt oksidētāja nokļūšanas procesu pie pamatmateriāla [1,2].

Zināmajiem karstumizturīgajiem pārklājumiem, kurus veido, piemēram, ar elektroloka izsmidzināšanas metodi vakuumā, nepiemīt norādītās īpašības un tie neļauj būtiski palielināt detaļu ilgizturību. Daļēji elektroloka iztvaicētājs nodrošina augstu izsmidzināšanas procesa ražošanas jaudu, kā arī efektīgu izstrādājuma virsmas tīrīšanu jonu bombardēšanas gadījumā. Taču izsmidzināšanas procesā izveidotajā aizsargpārklājumā rodas „pilienu” fāze. Šis efekts ir saistīts ar to, ka izsmidzināšanas procesā uz izsmidzināšanas objektu (pamatni) tiecas ne tikai neitrāli izsmidzināšanas materiāla atomi un joni, bet arī mikroskopisku izmēru pilieni (līdz 20 mkm). Tā rezultātā būtiski palielinās pārklājuma porainība.

Šis darbs atspoguļo pētījumu rezultātus, kas virzīti uz jaunās paaudzes aizsargpārklājumu radīšanu, izmantojot kombinētās jonu plazmas izsmidzināšanas shēmas (elektroloka un magnetrona paņēmieni kombinēšana).

Eksperimenta tehnika

Pētījumi ir veikti uz modificētas vakuuma iekārtas «HHB-6.6-И1» bāzes [1], kuras konstrukcijā viena no triju esošo elektroloka iztvaicētāju vietā ir paredzēts planārais magnetrons (1.att.).

Jonu plazmas vakuuma iekārta «HHB-6.6-И1» ir paredzēta dažāda tipa vienslāņu un daudzslāņu pārklājumu uzklāšanai uz izstrādājumiem, kuru diametrs nepārsniedz 200 mm un gabarīta izmērs nepārsniedz 250 mm. Vakuuma iekārtas darbības princips ir pazīstams kā kondensācijas un bombardēšanas princips. Viens no metodes būtiskajiem trūkumiem ir pilienu fāzes esība; pārāk „lielas” daļiņas no pamatplūsmas tiek atdalītas ar fokusējošas spoles magnētiskā lauka palīdzību. Izsmidzināto daļiņu plūsma transformējas virpulī un aizgriežas, jonizētās daļiņas izvietojas tuvāk plūsmas asij, bet smagākās daļiņas centrālās spēka dēļ tiek aiznestas perifērijā, nemaz nesasniedzot pamatni.

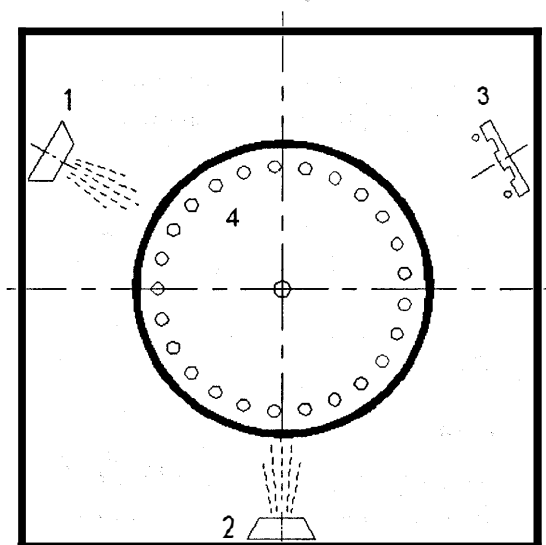
Tātad katoda pakāpeniskās iztvaicēšanas un iztvaicējamā materiāla daļiņu noteiktās ievirzes kustības rezultātā notiek pārklājuma veidošana uz pamatnes. Mainot iztvaicētāja stāva lielumu, spriegumu uz pamatnes un ieplūstošās gāzes spiedienu ir iespējams kontrolēt procesa intensitāti un iegūt pārklājumus ar atbilstošām īpašībām.

Tā kā vakuuma iekārtai «HHB-6.6-И1» ir trīs iztvaicētāji, ir iespējams veidot dažāda tipa un kombināciju daudzslāņu pārklājumus. Piemēram, viens no iztvaicējamajiem katodiem var būt sakausējums, bet divi citi – dažādi metāli. Atkarība no mērķa, mainot katodu materiālus un iztvaicēšanas secību, intensitāti un ilgumu, ir iespējams sasniegt nepieciešamo rezultātu. Gadījumā, ja visi katodi ir izgatavoti no viena un tā paša materiāla, iztvaicējot no trim avotiem, ir iespējams vienkārši intensificēt procesu un samazināt uzsmidzināšanas laiku. Ir jāpiemin, ka, veidojot pārklājumus ar minētās iekārtas palīdzību, iespēju spektrs ir diezgan plašs, un ir iespējams veidot dažāda tipa un struktūras aizsargpārklājumus.

Izmantotajai vakuuma iekārtai viena izsmidzinātāja vietā ir uzstādīts magnetrons. Magnetronu izsmidzināšanas sistēmu darbības princips atšķiras no iztvaicētāju darbības principa un metodei ir savas būtiskas priekšrocības; modernizācijas rezultāta metožu priekšrocības apvienojas, un, protams, iekārtas universālums palielinās.

Veidojot aizsargplēves ar magnetronu, to pamatpriekšrocības ir liels pārklājuma uzklāšanas ātrums un izsmidzināmā materiāla sastāva atkarīgās precizitāte. Izsmidzinot ar magnetronu, ir iespējams veidot praktiski jebkuru metālu un sakausējumu pārklājumus. Atkarība no darba atmosfēras sastāva, ir iespējams veidot dažādu materiālu oksīdu, nitrīdu, karbīdu un sulfīdu plēves, tai skaitā tādas plēves, kurus nav iespējams iegūt, pielietojot termiskās iztvaicēšanas metodes.

Izsmidzinot ar magnetronu, kondensācijas ātrums ir atkarīgs no izlādes strāvas spēka vai jaudas un darba gāzes spiediena; šis parametrs magnetronam ir zemāks nekā elektroloka izsmidzinātājā, tomēr dažādiem metāliem izsmidzināšanas ātrums ir diezgan liels, piemēram, Cu, Zn, Au, Ag. Atkarība no elektroloka iztvaicētāja, uzsmidzinot ar magnetronu, pilienu fāze netiek konstatēta, izsmidzināmās daļiņas ir metāla joni un neitrālie atomi, kas ir



1. att. Iztvaicētāju atrašanās vietu shēma uz modificētas vakuuma iekārtas:
1, 2 – elektroloka iztvaicētāji;
3 – magnetrons; 4 – rotējošs darba galds

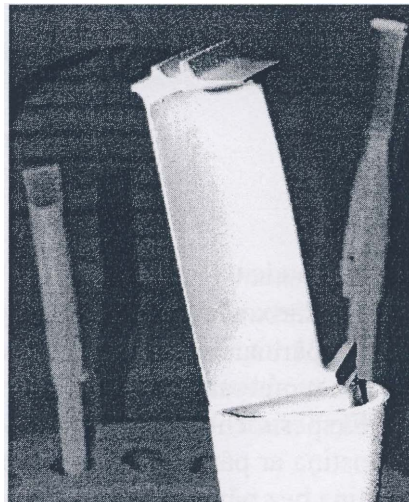
būtiska priekšrocība uzsmidzinot aizsargpārklājumus. Uzsmidzinot ar magnetronu, jonizācijas pakāpe ir zemāka nekā termiskās iztvaicēšanas gadījumā.

Ekspārimētā bija izmantotas sekojošas iekārtas:

- analītiskie «ADV-200M» tipa svāri ar 0,0001 g svēršanas precizitāti;
- mikrociētības mēritājs «PMT-3», x 460 palielinājums;
- «MP-2UM» tipa krāsni, 1000°C max.

Par pētījuma objektiem tika izvēlēti gāzes turbīna dzinēja (GTD) kompresora turbīnu lāpstiņas no EI687A sakausējuma (2. att.). Kā izsmidzināšanas materiāli elektroloku iztvaicēšanai tika izmantoti titāns (Ti) un alumīnijs (Al), bet magnetronam – Al.

Nākamā pārbaude uz karstumizturību tika veikta krāsni gaisa vidē, pievienojot arī mākslīgo zonu (NaCl, KCl, Na₂SO₃, (NH₄)₂SO₃) ar mērķi imitēt darba apstākļus.



2. att. Pētījumu objekts – gāzes turbīna dzinēja kompresora turbīnu lāpstiņa

Galvenie pētījumu rezultāti

Par pamatu tika ņemts kompozītais intermetālkeramiskais pārklājums IMCER [2]. Pārklājums sastāv no divām pamatkārtām: iekšējā kārtā – intermetāliskā uz Ti – Al bāzes; ārējā – keramiskais pārklājums uz Ti un Al nitrīdu bāzes. Pēc iepriekš veiktajiem pētījumiem [1,2] rezultātiem jāatzīst, ka pārklājumam ir labi ekspluatācijas rādītāji, piemēram, tam ir augstas pretoksidēšanās īpašības.

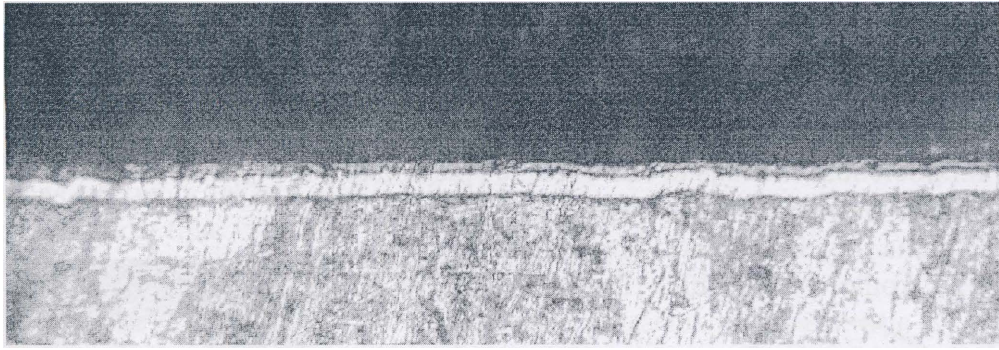
Pētījuma gaitā bija nepieciešams uzzināt, pirmkārt, pārklājuma IMCER iegūšanas iespējamību uz modificētas vakuuma iekārtas un, otrkārt, novērtēt magnetrona ietekmi uz iegūtā pārklājuma īpašībām.

Izsmidzināšanas parametri atbilda režīmam, kas ir raksturīgs pārklājumam IMCER [2] pie papildus magnetrona parametriem: spriegums - 800 V; strāvas stiprums - 4 A .

Ekspārimēta īpatnība bija arī tas, ka, veicot izsmidzināšanu, tika pielietotas dažādas tehnoloģiskās gāzu maisījumu (argona un slāpekļa) padeves shēmas vakuuma iekārtas darba kamerā. Atbilstoši pirmajai shēmai, gāzu maisījuma padevi veica, izmantojot vakuuma iekārtas iesūkņēšanas standarta sistēmu [1].

Otrajā ekspārimēta etapā tika veikta gāzes padeves sadalīšana ar papildus gāzes iesūkņēšanas sistēmas CHA-2 palīdzību. Šajā gadījumā argona padeve tika realizēta caur magnetronu, bet slāpekļa – caur bāzes spiedēsūkni.

Pētījumu rezultātā tika noskaidrots sekojošais. Padodot gāzes caur iesūkņēšanas bāzes sistēmu, ārējais pārklājuma izskats būtiski atšķiras no IMCER (pārklājums atšķiras ar gaišāku krāsas toni). Tas acīmredzot ir saistīts ar to, ka magnetronam ražošanas jauda ir mazāka, kad tas strādā ar gāzu maisījumiem nevis ar tīru argonu. Savukārt pie kombinētās gāzes padeves pārklājuma ārējais izskats ir identisks IMCER. Metalogrāfijas paraugu pētījumi rāda, ka iegūtā pārklājuma biezums kombinētās gāzes iesūkņēšanas sistēmas pielietošanas gadījumā ir 9 mk (3. att.), no kuriem 6.5 mk sastāda intermetāliskais slānis Ti-Al un 2.5 mk – nitrīdu slānis, kas radās, iesūkņējot slāpekli kamerā.



3. att. Pārklājuma struktūra, ko iegūst, izmantojot kombinēto gāzes iesūkņēšanas sistēmu (x460)

Pārbaude uz karstumizturību tika veikta divos etapos:

- Pārbaude krāsni gaisa vidē 36 stundu laikā pie temperatūras 850°C;
- pārbaude ar mākslīgās zonas papildinājumu 13 stundu laikā pie tās pašas temperatūras ar mērķi imitēt darba apstākļus.

Eksperimenta veikšanai tika izmantoti trīs paraugi: 1 – darba lāpstiņa pēc ekspluatācijas; 2 – lāpstiņa ar pārklājumu pēc iepriekš veiktajām pārbaudēm uz karstumizturību gaisa vidē; 3 – lāpstiņa bez pārklājuma, kas veica pārbaudi gaisa vidē.

Kopsavilkums

Veikto eksperimentu rezultātā tika noteikts, ka elektroloka un magnetronisko metožu kombinēšana ļauj paplašināt izsmidzināšanas iespējas, ja tiks radīti karstumizturīgie pārklājumi vakuumā. Šajā gadījumā iegūtais kompozītais intermetālkeramiskais pārklājums atšķiras ar to, ka tam nepiemīt „pilienu” fāze un, attiecīgi, tas ir blīvs un vienveidīgs. Pie tam vislabākās pārklājuma īpašības izdodas iegūt, atsevišķi padodot gāzi darba kamerā.

Tālāko pētījuma daļu ir nepieciešams koncentrēt uz optimālo kompozīto aizsargpārklājuma slāņu sastāva un biezumu attiecību meklējumiem ar mērķi sasniegt vislabākās karstumizturības un ilgizturības īpašības.

Šis darbs ir izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēc doktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

Literatūra

1. **Urbahs A., Savkovs K., Nesterovskis V., Urbaha M.** Inovatīvo vakuumpārklājumu efektivitātes novērtējums gāzturbīnu spēka iekārtu detaļu aizsardzībai no augstas temperatūras gāzes korozijas. - In the Book: Proceedings of 8th International Conference „Maritime transport and infrastructure – 2006”, Riga, 2006, 223-225 pp.
2. **Urbach, K. Savkov.** Creation of ionic-plasma coverings for protection and restoration of details for gas-turbine engines.- In the Book: Proceedings of II International Scientific and Technical Conference "Aero Engines of the XXI Century", Moscow, Central Institute of Aviation Motors, 2005, 306-308 pp.