

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **228956**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **416694**

(51) Int.Cl.
B23P 15/02 (2006.01)
C23C 16/06 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **30.03.2016**

(54)

Powłoka ochronna na łopatki sprężarki silnika turbinowego

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

09.10.2017 BUP 21/17

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

30.05.2018 WUP 05/18

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**DOMINIK KOZIK, Rzeszów, PL
ARTUR BORTO, Suchowola, PL
JAN ZWOLAK, Kraków, PL
STANISŁAW SKRZYPEK, Kraków, PL**

PL 228956 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest powłoka ochronna na łopatki sprężarki silnika turbinowego, zabezpieczająca je przed zużywaniem erozyjnym w warunkach pracy silnika oraz zwiększająca trwałość łopatek w warunkach dużego zapylenia i uderzania o nie ciała obcych zasysanych wraz z powietrzem, na przykład z otoczenia pasa startowego lotniska.

Łopatki sprężarki silnika turbinowego stanowią jego najbardziej obciążone elementy, które podczas eksploatacji poddawane są wielu obciążeniom mechanicznym i termicznym, a także erozji pyłowej. Dlatego istnieje konieczność częstej wymiany łopatek lub przeprowadzenia napraw, co z kolei generuje wysokie koszty materiałów i robocizny. Aby przeciwdziałać tym zjawiskom, łopatki sprężarek pokrywa się różnego rodzaju powłokami ochronnymi o wysokiej odporności na zużywanie ścierane przy jednocześnie wysokiej wytrzymałości mechanicznej i odporności termicznej.

Stosowanymi w praktyce powłokami przeciwoerozyjnymi są najczęściej powłoki monolityczne, takie jak tlenek aluminium, azotek tytanu i tlenek cyrkonu. Znane są także powłoki warstwowe, ale ze względu na złożoność technologii i wysokie koszty wytwarzania są one stosowane dość rzadko.

W publikacji pt. „Nowe technologie lotniczych silników turbinowych”, Jan Godzimirski, Prace Instytutu Lotnictwa 213, s. 22–36, Warszawa 2011, ujawniono powłoki przeciwoerozyjne w postaci aluminium, krzemu, niklu i itru, charakteryzujące się dobrymi ochronnymi właściwościami w temperaturze 1050–1100°C.

W opisie patentowym PL 176349 B1 ujawniono sposób zwiększenia trwałości łopatek sprężarek silników turbinowych polegający na nanoszeniu powłok ochronnych odpornych na erozję i korozję metodą fizycznego osadzania w próżni - PVD lub natryskiwania cieplnego oraz fizycznego osadzania w próżni, charakteryzujący się tym, że na oczyszczonej powierzchni łopatki wytwarza się powłokę składającą z kilku do kilkunastu stref ułożonych na przemian, o zróżnicowanej twardości. Strefą o niższej twardości jest: chrom, tytan, nikiel, a strefą o wysokiej twardości są: azotki chromu, tytanu, cyrkonu aluminium lub ich mieszaniny lub węglík wolframu z kobaltem pokryty azotkiem chromu, przy czym korzystnie jest gdy oddziałują one na powierzchnię roztworami wodnymi fosforanów i/lub chromianów zawierającymi jony metali jedno, dwu lub trójwartościowe lub ich mieszaniny.

Znany jest z opisu patentowego PL 165873 B1 sposób nanoszenia powłoki na łopatki maszyn przepływowych, polegający na tym, że łopatki w stanie ruchowym silnika cieplnego poddaje się procesowi oczyszczania przy zastosowaniu środka wprowadzanego wraz ze strumieniem powietrza do sprężarki, ponadto po otworzeniu silnika cieplnego, łopatki w stanie stacjonarnym poddaje się co najmniej procesowi przygotowania do kolejnego zabiegu, przy czym na łopatki w stanie stacjonarnym nanosi się powłokę ochronną za pomocą metalizacji natryskowej o dużej prędkości nanoszenia. Powłokę ochronną stanowi czyste aluminium lub substancja składająca się z 6 do 15% wagowych Si i pozostałej części Al lub substancja składająca się z 80% wagowych Al, 5 do 15% wagowych Si i jako reszty Cu, Mn, Mg, Ni. Powłoka ochronna może być dodatkowo pokryta powłoką kryjącą w postaci poliuretanowego lakieru samoutwardzalnego na bazie tworzywa sztucznego.

Z opisu patentowego EP1681374 B1 znany jest warstwowy system do ochrony przed korozją łopatek silnika turbinowego. System zawiera 3 warstwy osadzone na podłożu, które stanowią np. Fe, Co, stopy Ni. Pierwszą od strony podłoża warstwę stanowi warstwa blokująca dyfuzję, wytworzona ze związków międzymetalicznych wybranych z grupy obejmującej: PdAl₂, TaAl₂, NbAl₂, Nb₃Al₂, o grubości do 50 μm – korzystnie 5 μm. Warstwa blokująca zapobiega dyfuzji atomów Al do podłoża i chroni je przed korozją. Na niej jest umieszczona pośrednia warstwa ochronna w postaci stopu MCrAlX, w której M=Fe, Co, Ni, a X=Y, Si, Hf oraz zewnętrzna ceramiczna warstwa cieplna w postaci ZrO₂, Y₂O₄-ZrO₂. Niekorzystnemu oddziaływaniu aluminium na właściwości łopatki przeciwdziała warstwa blokująca, która zapobiega dyfuzji atomów tego pierwiastka do podłoża i chroni je przed korozją.

Ze względu na potrzebę uzyskiwania dużych sprawności aerodynamicznych i minimalizacji masowych momentów bezwładności, obecnie stosuje się łopatki o bardzo małej grubości krawędzi natarcia. Powoduje to większą podatność na uszkodzenia mechaniczne i zużycie erozyjne łopatek pod wpływem cząsteczek przenoszonych przez czynnik roboczy, jakim jest powietrze. W wyniku zderzeń łopatek np. z drobinami piasku, następuje erozyjne zużywanie powierzchni natarcia. Większe cząsteczki zanieczyszczeń mogą powodować uszkodzenia mechaniczne, które mogą stać się zarodkiem mikropęknięć. Dalsza eksploatacja może spowodować zmianę częstotliwości drgań własnych łopatki i jej zniszczenie w wyniku rezonansu z wymuszeniem mechanicznym bądź aerodynamicznym, pochodzącym od pulsacji ciśnienia.

Celem wynalazku jest zwiększenie odporności na erozję w strumieniu pyłu łopatek sprężarki silnika turbinowego, poprzez zaprojektowanie powłoki ochronnej zdolnej do pochłaniania energii kinetycznej uderzających cząstek.

Powłoka ochronna na łopatki sprężarki silnika turbinowego o budowie warstwowej podobnie jak znane ze stanu techniki rozwiązanie zawiera warstwę z aluminium i jest naniesiona na podłoże ze stopu tytanowo-aluminiowego.

Istota rozwiązania charakteryzuje się tym, że powłoka zawiera kolejno od strony podłoża: warstwę tłumiącą drgania z żywicy estru cyjaninowego o grubości 30–50 μm , warstwę redukującą naprężenia cieplne z czystego aluminium o grubości 30–50 μm oraz ceramiczną warstwę zewnętrzną z azotku tytanu lub węgla chromu o grubości 40–60 μm .

Powłoka ochronna według wynalazku jest przeznaczona do stosowania na łopatki stanowiące części składowe wielostopniowych sprężarek pracujących w temperaturach nieprzekraczających 400°C. Dotyczy to wszystkich stopni sprężarek niskiego ciśnienia, części stopni sprężarek wysokiego ciśnienia oraz wentylatorów, gdzie wpływ erozyjnego działania piasku jest największy. Na dalsze stopnie sprężarek nie stosuje się pokryć antyerozyjnych – są położone zbyt daleko od wlotu i erozja nie stanowi istotnego problemu.

Dzięki swojej budowie powłoka zapewnia odporność łopatek sprężarki silnika turbinowego na erozję w strumieniu pyłu, przez co zwiększa ich trwałość.

Warstwa tłumiąca drgania wykonana z żywicy estru cyjaninowego pochłania energię kinetyczną uderzających cząstek stałych, np. ziarenek piasku, przenoszonych przez czynnik roboczy, jakim jest powietrze. Powłoka odkształca się sprężyście i dzięki temu powstające uszkodzenia są znacznie mniejsze. Dodatkowo materiał jest odporny na podwyższoną temperaturę i wykazuje dobre właściwości klejące. Z kolei warstwa z aluminium redukuje naprężenia cieplne pomiędzy warstwą z żywicy estru cyjaninowego, a ceramiczną warstwą zewnętrzną. Natomiast ceramiczna warstwa zewnętrzna charakteryzuje się dużą twardością i wysoką odpornością na ścieranie.

Zastosowanie warstw w podanej kolejności i grubości przyczynia się do zmniejszenia erozyjnego działania cząstek stałych. Ponadto grubość warstw została tak zaprojektowana, aby powłoka nie była zbyt sztywna i w przypadku dużych odkształceń łopatki nie ulegała pękaniu.

Dodatkowo powłoka podnosi odporność łopatek na utlenianie i korozję.

Przedmiot wynalazku wyjaśniony jest w poniższych przykładach realizacji i pokazany na rysunku schematycznym, na którym fig. 1 przedstawia widok perspektywiczny łopatki sprężarki silnika turbinowego, a fig. 2 przekrój poprzeczny szczegółu s z fig. 1.

Przykłady realizacji należy traktować jedynie jako szczegółowe przybliżenie wynalazku, w niczym niezawężające jego istoty ani nieograniczające zakresu jego ochrony.

P r z y k ł a d 1

Powłoka ochronna na łopatki sprężarki silnika turbinowego osadzona na podłożu 1 ze stopu tytanowo-aluminiowego, zawiera kolejno od strony podłoża:

- warstwę tłumiącą drgania 2 z żywicy estru cyjaninowego o grubości $40\pm 10 \mu\text{m}$,
- warstwę redukującą naprężenia cieplne 3 z czystego aluminium o grubości $40\pm 10 \mu\text{m}$,
- ceramiczną warstwę zewnętrzną 4 z azotku tytanu o grubości $45\pm 10 \mu\text{m}$.

Żywicę estru cyjaninowego naniesiono na podłoże metodą natrysku cieplnego. Aluminium nałożono metodą zimnego natrysku w temperaturze nieprzekraczającej 400°C. Warstwę zewnętrzną z azotku tytanu nałożono metodą osadzania z fazy gazowej, w reakcji czterobromku tytanu oraz amoniaku pod ciśnieniem atmosferycznym, w zakresie temperatur podłoża 400°C do 600°C.

P r z y k ł a d 2

Powłoka ochronna na łopatki sprężarki silnika turbinowego osadzona na podłożu ze stopu tytanowo-aluminiowego, zawiera kolejno od strony podłoża 1:

- warstwę tłumiącą drgania 2 z żywicy estru cyjaninowego o grubości $40\pm 10 \mu\text{m}$,
- warstwę redukującą naprężenia cieplne 3 z czystego aluminium o grubości $40\pm 10 \mu\text{m}$,
- ceramiczną warstwę zewnętrzną 4 z węgla chromu, o grubości $40\pm 10 \mu\text{m}$.

Żywicę estru cyjaninowego naniesiono na podłoże metodą natrysku cieplnego. Aluminium nałożono metodą zimnego natrysku w temperaturze nieprzekraczającej 400°C. Warstwę zewnętrzną z węgla chromu nałożono metodą osadzania z fazy gazowej z tetra-tert-butylchromium $\text{Cr}[\text{C}(\text{CH}_3)_3]_4$, w zakresie temperatur podłoża 100–150°C.

Zastrzeżenie patentowe

1. Powłoka ochronna na łopatkę sprężarki silnika turbinowego o budowie warstwowej, zawierająca warstwę z aluminium, naniesiona na podłoże ze stopu tytanowo-aluminiowego, **znamienna tym**, że zawiera kolejno od strony podłoża (1): warstwę tłumiącą drgania (2) z żywicy estru cyjaninowego o grubości 30–50 μm , warstwę redukującą naprężenia cieplne (3) z czystego aluminium o grubości 30–50 μm oraz ceramiczną warstwę zewnętrzną (4) z azotku tytanu lub węgla chromu o grubości 40–60 μm .

Rysunki

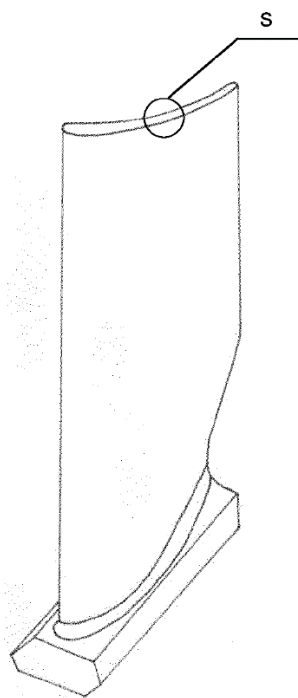


Fig. 1

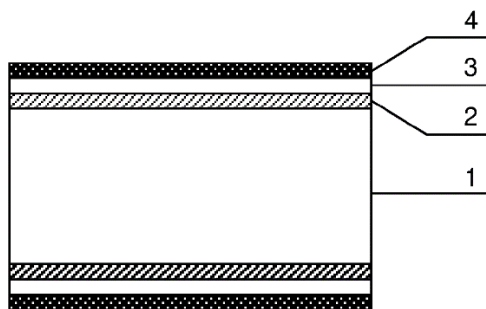


Fig. 2