RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **176349**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **307103**

(22) Data zgłoszenia: **03.02.1995**

(51) IntCl[6]:
B23P 15/02
C23C 16/34

CZYTELNIA OGÓLNA

(54) **Sposób zwiększenia trwałości łopatek sprężarek silników turbinowych**

(43) **Zgłoszenie ogłoszono:**
05.08.1996 BUP 16/96

(45) **O udzieleniu patentu ogłoszono:**
31.05.1999 WUP 05/99

(73) **Uprawniony z patentu:**
Politechnika Śląska, Gliwice, PL

(72) **Twórcy wynalazku:**
Lucjan Swadźba, Tychy, PL
Bolesław Formanek, Katowice, PL
Adolf Maciejny, Katowice, PL
Bogusław Mendala, Siemianowice, PL
Piotr Liberski, Mysłowice, PL
Paweł Podolski, Dąbrowa Górnicza, PL
Wacław Supernak, Niegowonice, PL

(74) **Pełnomocnik:**
Ziółkowska Urszula, Politechnika Śląska

(57) 1. Sposób zwiększenia trwałości łopatek sprężarek silników turbinowych polegający na nanoszeniu pokryć ochronnych odpornych na erozję i korozję metodą fizycznego osadzania w próżni -PVD lub natryskiwania cieplnego oraz fizycznego osadzania w próżni, **znamienny tym**, na oczyszczonej powierzchni łopatki wytwarza się pokrycie składające się z kilku do kilkunastu stref naprzemian o zróżnicowanej twardości przy czym strefą o niższej twardości jest chrom, tytan, nikiel a strefą o wysokiej twardości są azotki chromu, tytanu, cyrkonu aluminium lub ich mieszaniny lub węglik wolframu z kobaltem pokryty azotkiem chromu, przy czym korzystnie jest gdy przeprowadza się chemiczną, która polega na tym, ze oddziaływuje się na powierzchnię roztworami wodnymi fosforanów i/lub chromianów zawierającymi jony metali jedno, dwu lub trójwartościowe lub ich mieszaniny.

PL 176349 B1

Sposób zwiększenia trwałości łopatek sprężarek silników turbinowych

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób zwiększenia trwałości łopatek sprężarek silników turbinowych polegający na nanoszeniu pokryć ochronnych odpornych na erozję i korozję metodą fizycznego osadzania w próżni -PVD lub natryskiwania cieplnego oraz fizycznego osadzania w próżni, **znamienny tym**, na oczyszczonej powierzchni łopatki wytwarza się pokrycie składające się z kilku do kilkunastu stref naprzemian o zróżnicowanej twardości przy czym strefą o niższej twardości jest chrom, tytan, nikiel a strefą o wysokiej twardości są azotki chromu, tytanu, cyrkonu aluminium lub ich mieszaniny lub węglik wolframu z kobaltem pokryty azotkiem chromu, przy czym korzystnie jest gdy przeprowadza się chemiczną, która polega na tym, że oddziaływuje się na powierzchnię roztworami wodnymi fosforanów i/lub chromianów zawierającymi jony metali jedno, dwu lub trójwartościowe lub ich mieszaniny.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w skład pokryć wchodzi aluminium.

3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że łopatki po naniesieniu pokrycia wygrzewa się w temperaturze od 200 do 800°C.

4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że po wytworzeniu pokryć metodą PVD, łopatki poddaje się procesowi dyfuzyjnego pokrywania warstwami na bazie aluminium i/lub aluminium i cynku lub cynku.

* * *

Przedmiotem wynalazku jest sposób zwiększenia trwałości łopatek sprężarek silników turbinowych poprzez nanoszenie odpornych na korozję i erozję pokryć ochronnych.

Erozja w sprężarkach turbin gazowych spowodowana jest przez uderzenia drobnych cząstek stałych. Zużycie erozyjne łopatek jest głównym czynnikiem wzrostu zużycia paliwa, ponieważ w sprężarkach występują bardzo duże przepływy powietrza, a duży stopień zużycia łopatek, chropowatość ich powierzchni dodatkowo zwiększa opory przepływu.

Źródłem cząstek powodujących erozję elementów sprężarki mogą być zanieczyszczenia, pył, piasek, lub naturalne pyły wulkaniczne i mgła solna bowiem bardzo często brak jest możliwości filtrowania powietrza i jego dostatecznie szybkiego odbierania.

Drugim czynnikiem decydującym o trwałości łopatek sprężarek jest ich odporność na korozję zwłaszcza korozję wżerową. Stosowane dotychczas na łopatki sprężarek stale martenzytyczne 13H12NWMFA oraz 13H14N3W2F nie spełniają wymagań ze względu na niską odporność na korozję w wodzie morskiej i w nadmorskiej atmosferze.

Dla zabezpieczenia łopatek sprężarek przed oddziaływaniem agresywnego środowiska korozyjnego opracowano szereg metod pokrywania oraz typów pokryć. Zasadniczym błędem w dotychczasowych koncepcjach ochrony przed korozją i erozją pokryć jest to, że niemal wszystkie systemy przewidują otrzymywanie pokryć o jednorodnej na przekroju strukturze oraz nie uwzględniają konieczności spełnienia przez pokrycie jednocześnie warunku wysokiej odporności na erozję pod różnymi kątami oddziaływania cząstek na przekroju łopatki i korozję.

Stosowanie warstw ochronnych na łopatki sprężarek zwiększa zarówno ekonomiczne jak i techniczne parametry eksploatacji silników turbinowych. Metody wytwarzania warstw podlegają licznym ograniczeniom technologicznym wynikającym ze stosowania określonego gatunku stali, specyficznego kształtu łopatki, wysokich wymagań w stosunku do jednorodności i grubości pokrycia oraz gładkości powierzchni. Jednym z ważniejszych ograniczeń jest dopuszczalna temperatura procesu nanoszenia pokrycia, której przekroczenie może

prowadzić do zmian strukturalnych materiału łopatki a tym samym obniżenia własności mechanicznych.

Znane są dwie metody zwiększenia trwałości łopatek. Jedna z nich polega na stosowaniu warstw twardych o zamierzonej dużej odporności na ścieranie i zadawalającej odporności na korozję. Druga polega na stosowaniu pokryć chroniących łopatkę przed oddziaływaniem środowiska korozyjnego, a stosowane pokrycia zabezpieczają łopatki przed korozją w aerozolu wody morskiej oraz kwaśnych atmosferach przemysłowych. Początkowe badania koncentrowały się na zastosowaniu dyfuzyjnego aluminiowania w wysokoaktywnych mieszaninach proszków. Stosowany był proszek aluminium oraz aktywatory. Temperatura procesu wynosiła 550°C. Pokrycia tego typu nie spełniały oczekiwań ze względu na dyfuzyjny charakter - pokrycie oddziaływuje na własności mechaniczne łopatki, niewystarczającą odporność mechaniczną oraz wymaga długiego czasu procesu.

Powłoki chromianowe stały się punktem wyjścia do opracowania pokryć opartych na konwersyjnym połączeniu z podłożem oraz nieorganicznym wiązaniu powstającym w układzie: kwas chromowy: - kwas fosforowy i ich sole metali. Jako przykład można podać pokrycie przedstawione w patencie USA nr 4141760 z roku 1979. Łopatki ze stali AISI 410 poddane zostały dyfuzyjnemu aluminiowaniu w mieszaninie wysokoaktywnej w temperaturze 500°C w czasie 16 godzin z wytworzeniem warstwy dyfuzyjnej. Następnie łopatki pokryto wodną zawiesiną zawierającą CrO_3, MgO, H_3PO_4, proszek aluminium, glikol polietylenowy oraz środek zwilżający. Następnie natryskiwano wodną zawiesinę cząstek Al_2O_3 lub SiO_2. Jako ostatnią stosowano warstwę otrzymaną przez natryskiwanie roztworu wodnego zawierającego CrO_3, $MgCr_2O_7$, $Mg(H_2PO_4)$. Po wysuszeniu pokrycia stanowiły protektorową ochronę łopatek dzięki korzystnej różnicy potencjału w stosunku do podłoża stalowego.

Na bazie wiązań nieorganicznych przedstawionego powyżej typu opracowano grupę pokryć pod nazwą Sermetel, przeznaczonych głównie dla przemysłu lotniczego. Zasadniczą zaletą tego rozwiązania jest brak potrzeby stosowania specjalnych urządzeń do ich nakładania, jednakże mało jest danych porównawczych w odniesieniu do pokryć uznawanych powszechnie za odporne na erozję.

Znane są pokrycia aluminiowo-chromowe nanoszone w dwóch procesach. W pierwszym z nich nanosi się metodą galwaniczną warstwę chromu, zapewniającego wysoką odporność na korozję wżerową. Następnie łopatki poddaje się dyfuzyjnemu niskotemperaturowemu aluminiowaniu. Pokrycie składa się z dwóch stref, zewnętrznej stanowiącej związek aluminium z chromem i wewnętrznej o strukturze roztworu stałego aluminium w chromie. Metoda takiego pokrywania ma jednak zasadnicze wady. Pierwsza z nich to problemy techniczne związane z nakładaniem chromu metodą galwaniczną o jednorodnej grubości, szczególnie na bardzo cienkich krawędziach łopatek sprężarek. Kolejne wady to trudności w uzyskaniu pokryć chromowych bez naprężeń oraz pęknięć oraz problemy z ochroną środowiska w procesie chromowania. Szereg interesujących przykładów ochrony łopatek sprężarek przytoczono w patencie USA nr 4350719 z 1982 roku. Łopatki wykonane ze stali AISI 410 przygotowane i wygładzane poddano dyfuzyjnemu aluminiowaniu w mieszaninie zawierającej 20% wagowych proszku Al, 70% Al_2O_3 w czasie 20 godzin. Otrzymana warstwa dyfuzyjna miała grubość 0,5 milicala. Aluminiowane łopatki natryskiwano zawiesiną w roztworze zawierającym aluminium, CrO_3, MgO, H_3PO_4. Do przygotowanego roztworu wprowadzano glikol polietylenowy, środek zwilżający. Nakładano trzy takie warstwy. Powłoki wypalano, po czym natryskiwano następne trzy warstwy i ponownie wypalano. Na uzyskane pokrycie natryskiwano zawiesinę MgO, H_3PO_4 oraz koloidalną krzemionkę. Pokrycie ponownie wypalano. Pomimo uzyskania dobrych własności ochronnych zasadniczą wadą ograniczającą zastosowanie tych pokryć jest duża pracochłonność ich wykonania oraz skomplikowana kontrola pokrycia w kolejnych cyklach jego nakładania składających się z szeregu następujących po sobie operacji technologicznych.

W celu ochrony elementów łopatek sprężarek silnika zgodnie z opisem patentowym USA 3 948 687 pokrycie nakładane jest z roztworu wodnego wykonanego przez rozpuszczanie tlenku lub węglanu magnezu w kwasie fosforowym z dodatkiem kwasu chromowego z płatkowym aluminium. Pokrycia tego typu nakładane przez natrysk i

wygrzewane uodparnia je na rozpuszczanie w wodzie. Zasadniczym postępem w tym przypadku jest zastosowanie w zawiesinie płatkowego aluminium, które bardzo dokładnie pokrywa powierzchnię.

Znane są pokrycia o wysokiej twardości i odporności na ścieranie zwiększające trwałość łopatek sprężarek nakładane metodami natryskiwania cieplnego węglików lub węglików w osnowie niklu lub kobaltu np. CrC, WC-Co, NiCrC, FeCrAlY. Pokrycia te otrzymywane są przez natryskiwanie metodą plazmową, detonacyjną lub naddźwiękową.

Możliwości zwiększenia trwałości łopatek znacznie wzrosły wraz z rozwojem technologii bazujących na metodach fizycznych ich otrzymywania zwanych metodami PVD. Znane są próby zastosowania pokryć azotku tytanu jako pokrycia o wysokiej twardości i odporności na ścieranie. Znany jest jednak pogląd, że naniesienie pokrycia TiN bez porowatości jest bardzo trudne o ile w ogóle możliwe. Dlatego zachowanie się tego typu pokryć w warunkach oddziaływania silnie korozyjnych środowisk zależy od wzajemnego oddziaływania pokrycia i podłoża. Pokrycia azotku tytanu będące głównym punktem zainteresowania mają charakter katodowy w stosunku do materiałów stosowanych do wytwarzania łopatek, które wykazują skłonność do korozji pittingowej. Stwierdzono, że zastosowanie międzywarstw galwanicznych niklu, chromu lub platyny prowadzi do zwiększenia odporności na korozję. Jedną z najważniejszych wad dotychczasowych rozwiązań jest to, że pozwalają albo na zwiększenie odporności korozyjnej albo na odporności na erozję.

Pokrycia nieorganiczne zapewniają bardzo dobrą odporność na korozję, niską zaś odporność erozyjną. Pokrycia twarde bazujące na fazach i związkach międzymetalicznych oraz węglikach wykazywały co prawda wyższą odporność na erozję przy niezadowalającej odporności korozyjnej. Ponadto większość ze znanych i stosowanych metod otrzymywania pokryć ma szereg wad. Pokrycia nieorganiczne nanoszone były ręcznie najczęściej metodą natrysku pistoletem malarskim, przez co zakres dopuszczalnych grubości musiał być szeroki. Oznaczało to, że grubość pokryć mogła mieć wpływ na własności aerodynamiczne sprężarki. Zasadniczymi wadami pokryć nanoszonych przez natryskiwanie cieplne jest konieczność rozwijania powierzchni metodą strumieniowo ścierną wprowadzającą niekorzystne naprężenia co ma wpływ na własności mechaniczne, zwłaszcza wytrzymałość zmęczeniową łopatek, konieczność stosowania międzywarstw, duże trudności w utrzymaniu powtarzalności jednakowej grubości na przekroju pojedynczych łopatkach oraz poszczególnych łopatkach. Najważniejszą z wad powłok natryskiwanych, jest ich duży ciężar właściwy (np. węglik wolframu-kobalt) co przy dużej ilości łopatek w sprężarce może wpływać na trudności z wyważeniem oraz wzrost całkowitej jej masy. Ponadto pokrycia te z natury są w mniejszym lub większym stopniu porowate co może je dyskwalifikować ze względu na niską odporność korozyjną.

Dotychczas stosowane pokrycia na łopatkach sprężarek nie mogły spełniać wymagań odpowiedniej odporności na erozję w strumieniu pyłu. Mechanizm oddziaływania pyłu na łopatkę jest taki, że krawędź natarcia atakowana jest pod kątem prostym lub zbliżonym do prostego, dlatego w tej części należałoby zastosować pokrycia plastyczne o niskiej twardości natomiast powierzchnia tzw. koryta atakowana jest w zakresie małych kątów od 0 do 30° i w tym obszarze należy stosować pokrycia o wysokiej twardości. Stosowane dotychczas pokrycia były jednorodne pod względem twardości a więc były odporne na erozję albo przy niskich albo przy wysokich kątach padania cząstek.

Sposób zwiększenia trwałości łopatek sprężarek turbin polega na tym, że na oczyszczoną powierzchnię łopatki nanosi się metodą fizyczną, PVD, katodowego lub łukowego rozpylania lub inną metodą fizyczną, pokrycie składające się z kilku do kilkunastu stref naprzemian o niższej a następnie wyższej twardości przy czym strefą o niższej twardości jest chrom, tytan, nikiel, a strefą o wysokiej twardości są azotki chromu, tytanu, cyrkonu lub ich mieszaniny lub azotki które w swoim składzie zawierają aluminium, po czym jeśli łopatka powinna mieć wysoką odporność na korozję dla zwiększenia tej odporności korzystnie jest poddać ją obróbce chemicznej w roztworach chromianów i/lub fosforanów zawierających jony metali jedno, dwu lub trójwartościowych lub ich mieszaniny w dowolnym stosunku po czym korzystnie jest wygrzać łopatkę z tak naniesionym pokryciem w temperaturze

pomiędzy 250 a 800°C. Obróbkę chemiczną przeprowadza się przed lub po procesie nanoszenia pokrycia. Korzystnie jest gdy azotki zawierają aluminium.

Pokrycia otrzymane sposobem według wynalazku zapewniają wysoką odporność na erozję i korozję.

Zaletą sposobu według wynalazku jest to, że łopatka uzyskuje odporność na erozję bez względu na kąt padania cząstek bowiem nawet jeśli cząstka uderzy w strefę o wysokiej twardości pod kątem 90° i strefa ta zostanie zniszczona odsłonięta zostanie strefa miękka w wyższej odporności na uderzenia pod kątem 90°. Tak więc struktura pokrycia na łopatce zgodnie z wynalazkiem ma tę zaletę, że w toku eksploatacji będzie ona przyjmować najkorzystniejszą budowę pod względem odporności na erozję w zależności od kąta padania strugi.

Przykład I. Łopatka sprężarki silnika lotniczego wykonana z gatunku 13H12N2WFMA po odpowiednim przygotowaniu powierzchni poddana została pokrywaniu metodą rozpylania łukowego, PVD, warstwą chromu o grubości 5 mikrometrów i mikrotwardości 600 przy obciążeniu 10 g po czym na warstwę chromu naniesiono warstwę azotku chromu o grubości 3 mikrometrów i mikrotwardości 2000 przy obciążeniu 10 g. Cykl ten powtórzono kilkakrotnie i uzyskano pokrycie składające się z trzech stref chromu oraz dwóch stref azotku chromu. Łopatka z pokryciem charakteryzowała się bardzo dobrą przyczepnością do podłoża, wysoką odpornością na erozję i korozję.

Przykład II. Łopatka sprężarki silnika lotniczego poddana została pokrywaniu metodą fizycznego osadzania warstwą chromu o grubości 5 mikrometrów i mikrotwardości 600 przy obciążeniu 10 g po czym na warstwę chromu w tym samym cyklu pokrywania naniesiono warstwę azotku chromu o grubości 3 mikrometrów i mikrotwardości 2000. Cykl pokrywania powtarzano na przemian, aż do uzyskania pokrycia składającego się z trzech stref chromu oraz dwóch stref azotku chromu. Tak pokrytą łopatkę poddano pasywacji w roztworze o składzie chemicznym HNO_3 -300 g/dcm^3, K_2CrO_3 (dwuchromian potasu) -27 g/dcm^3 w temperaturze 60°C w czasie 40 minut. Pokryta łopatka wykazywała wysoką odporność korozyjną oraz bardzo dobrą odporność na erozję.

Przykład III. Łopatka sprężarki wykonana ze stali martenzytycznej poddana została pokrywaniu metodą fizycznego osadzania warstwą chromu o grubości 15 mikrometrów po czym przeprowadzono proces obróbki chemicznej w roztworze o składzie chemicznym HNO_3 -300 g/dcm^3, K_2CrO_3 (dwuchromian potasu) -27 g/dcm^3 w temperaturze 60°C w czasie 40 minut. Pokryta łopatka wykazywała wysoką odporność korozyjną oraz dobrą odporność na erozję.

Przykład IV. Łopatka sprężarki wykonana ze stali martenzytycznej pokryta została metodą natryskiwania cieplnego warstwą węglika wolframu z kobaltem (WC-12Co) o grubości 30 mikrometrów po czym na tak otrzymaną warstwę na łopatce, naniesiono metodą fizycznego osadzania w próżni, warstwę azotku chromu o grubości 8 mikrometrów. Otrzymano pokrycie o wysokiej odporności na korozję i erozję.

Przykład V. Łopatka sprężarki wykonana ze stopu tytanu po przygotowaniu powierzchni poddana została pokrywaniu metodą fizycznego osadzania warstwą tytanu o grubości 1 mikrometra po czym na warstwę tytanu naniesiono warstwę azotku tytanu o grubości 3 mikrometrów o mikrotwardości 2000 przy obciążeniu 10 g. Na warstwę azotku tytanu nałożono warstwę tytanu o grubości 3 mikrometrów, na którą ponownie nałożono warstwę azotku tytanu o grubości 3 mikrometrów uzyskując ten sposób pokrycie składające się ze stref o zróżnicowanej twardości. Otrzymane na łopatce pokrycie poddano obróbce chemicznej i cieplnej polegającej na zanużeniu jej w roztworze zawierającym 5% wagowych CrO_3, 3% wagowych MgO, 16% wagowych H_3PO_4, suszono po czym wygrzewano w temperaturze 520°C. Otrzymano pokrycie o wysokiej odporności na erozję i korozję.

Przykład VI. Łopatka sprężarki wykonana ze stali 13H12NWFA pokryta została na przemian warstwą tytanu i azotku tytanu jak w przykładzie V, a następnie poddana dyfuzyjnemu aluminiowaniu w mieszaninie zawierającej proszek aluminium w ilości 70% wagowych, tlenek glinu w ilości 28% wagowych oraz chlorek amonu w ilości

2% wagowych w temperaturze 550°C w czasie 20 godzin. Tak otrzymane pokrycie poddane zostało obróbce chemicznej w roztworze zawierającym jony chromu, magnezu i fosforu po czym łopatkę suszono a następnie wygrzewano w temperaturze 550°C. Otrzymano na łopatce sprężarki pokrycie azotku tytanu modyfikowanego aluminium o bardzo wysokiej odporności na erozję i korozję oraz bardzo dobrej przyczepności do podłoża.

Departament Wydawnictw UP RP. Nakład 70 egz.
Cena 2,00 zł.