

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **236584**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **418323**

(22) Data zgłoszenia: **14.08.2016**

(51) Int. Cl.

C23C 4/08 (2016.01)

B32B 15/02 (2006.01)

(54)

**Powłoka ochronna na powierzchni ślimaka transportowego dla kotła
o mocy do 250 kW, zwłaszcza do węglowego kotła retortowego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

26.02.2018 BUP 05/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

25.01.2021 WUP 02/21

(73) Uprawniony z patentu:

**PROTECH SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Zator, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ARTUR WYPYCH, Poznań, PL
JAN KRUPNIK, Wieprz, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Andrzej Fus

PL 236584 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest powłoka ochronna na powierzchni ślimaka transportowego dla kotła o mocy do 250 kW, zwłaszcza do węglowego kotła retortowego.

Jednymi z najpopularniejszych kotłów na naszym rynku są kotły retortowe z automatycznym podajnikiem i zasobnikiem na paliwo. W kotłach retortowych, dzięki specjalnemu palenisku bezresztowemu, spala się dokładnie taka porcja węgla, jaka jest potrzebna do otrzymania nastawionej przez użytkownika temperatury.

Najważniejszym elementem kotła retortowego obok palnika retortowego jest podajnik paliwa. Podajnik zbudowany jest z wielu podzespołów. Motoreduktor napędza ślimak podajnika, na który zsypuje się paliwo ze zbiornika. Jest ono następnie transportowane do palnika retortowego i wypychane w stronę górnej części palnika. Tam w końcu ulega spalaniu. Przy spalaniu paliwa w palniku retortowym jest wymóg, aby proces przebiegał ponad otworem palnika, tworząc delikatną górkę, tzw. kopczyk. Warstwa żaru ma grubość od kilkudziesięciu do ponad 100 mm, a nawet 150 mm (w zależności od mocy kotła).

Zbyt krótkie czasy podawania lub zbyt długie odstępy pomiędzy poszczególnymi momentami pracy podajnika powodują stopniowe obniżanie się żaru, aż do wysokości ślimaka lub nawet poniżej. Efektem tego jest praca części ślimaka w żarze. Wówczas na początku ślimaka może kształtować się spiek, który w jakimś stopniu przyczyni się do powstania dużych oporów na ślimaku. Dodatkowo wysoka temperatura żaru ($700 \div 1200^{\circ}\text{C}$), nagrzewając ślimak, powoduje jego uplastycznienie. Może to spowodować znaczne skrócenie wałka, przy jednoczesnym spęczeniu i zmniejszeniu odległości pomiędzy zwojami (w jednym z przypadków z 85 do 45 mm), a tym samym skrócenie. Bardzo często nieprawidłowa praca kotła retortowego jest spowodowana uszkodzeniem lub zużyciem zwojów ślimaka transportowego, zwłaszcza w części podpalnikowej.

Zasadniczo, ślimaki transportowe w kotłach retortowych nie są wykonane ze stali żaroodpornych i w swoim składzie chemicznym nie posiadają pierwiastków, takich jak krzem, aluminium czy chrom, którymi charakteryzują się stale żaroodporne. Proces utleniania polega na tworzeniu się zgorzeliny (warstwy tlenków). Nie ustaje on, a w połączeniu z czasem oraz wysoką temperaturą, jej grubość na bieżąco się powiększa. Im grubsza warstwa zgorzeliny, tym przyczepność do podłoża spada, powodując odrywanie się „płatów” warstwy tlenkowej. Również, podczas procesu utleniania pojawiają się bardzo silne naprężenia w warstwie tlenków na zwojach ślimaków transportowych. Mają one duży wpływ na deformację zgorzeliny i powodują pęknięcia, a także odrywanie się jej od reszty materiału, a tym samym postępujące niszczenie ślimaka.

Dotychczas, ślimaki transportowe kotłów energetycznych, w szczególności do użytku domowego, wykonywano z materiału rodzimego nie zabezpieczonego w żaden sposób. Brak zabezpieczenia powodował przyspieszone zużywanie w warunkach eksploatacyjnych w środowisku silnie obciążającym ściernie, po czym ślimak wymieniano na nowy. Regeneracja jest niemożliwa z uwagi na znaczne ubytki powierzchni piór ślimaków.

Spośród znanych metod zabezpieczania transporterów ślimakowych znane są metody napawania materiałami dodatkowymi w postaci zarówno proszków, jak i drutów. Metody te jednak przeznaczone są do elementów o znacznej grubości w stosunku do powierzchni napawanej płaszczyzny. Wynika to ze znacznej ilości wprowadzonego ciepła podczas napawania do materiału rodzimego, co prowadzi do znacznych naprężeń cieplnych wynikających z przemian mikrostrukturalnych w SWC (Strefie Wpływu Ciepła).

W przypadku elementów, w których grubość blachy piór zwojów ślimaka transportowego jest mała w stosunku do powierzchni koniecznej do zabezpieczenia, przy niewłaściwej technologii zwiększenia trwałości piór zwojów, powstałe naprężenia spawalnicze doprowadzą do deformacji i odkształceń, a w skrajnym przypadku do pękania spiralnych spoin mocujących pióra zwojów do walca ślimaka.

Znane są metody napyłania powierzchni elementów mieszaniną składników zawierających żelazo lub inne metale.

Z opisu WO2015044735A1 znana jest sposób uzyskiwania na podłożu żelaznej powłoki z kropelek stopionego drutu łukiem elektrycznym. Sposób obejmuje: etap formowania pierwszej natryskiwanej żelaznej powłoki na podłożu, gdzie drutem do natryskiwania łukowego jest pierwszy drut zawierający żelazo i 0,03 do 0,10% masy węgla przy użyciu sprężonego gazu, który jest gazem obojętnym,

oraz etap formowania drugiej natryskiwanej żelaznej powłoki na pierwszą natryskiwana żelazną powłokę, gdzie drutem do natryskiwania łukowego jest drugi drut zawierający żelazo i 0,03 do 0,10% masy węgla przy pomocy sprężonego gazu zawierającego 10 do 21% objętości tlenu.

W opisie WO2015028358A1 przedstawiony jest skład zewnętrznej powłoki dla elementu rurowego na bazie żelaza, zwłaszcza żeliwa, która składa się z zasadniczo czystego cynku lub stopu cynku lub pseudo-stopu, stop lub pseudo-stop zawierający wagowo co najmniej 50% cynku oraz najlepiej pomiędzy 0,5% i 40% aluminium. Na pierwszą warstwę porowatą nakładana jest druga warstwa, która zawiera farbę na bazie co najmniej jednej żywicy organicznej lub farby dwuskładnikowej zabezpieczającej pory pierwszej warstwy.

W opisie PL380114A1 ujawniony jest sposób, w którym oczyszczoną wewnętrzną powierzchnię płaszcza i dennic zbiornika pokrywa się warstwą metalizacji grubocząsteczkowej do wysokości 300° płaszcza poniżej włazu, a warstwę metalizacji grubocząsteczkowej oraz pozostałą powierzchnię od góry płaszcza i dennic pokrywa się warstwą metalizacji drobnocząsteczkowej. Warstwę metalizacji grubocząsteczkowej oraz warstwę metalizacji drobnocząsteczkowej, uzyskuje się przez natryskiwanie łukowe metali lub stopów metali. Częsteczki natryskiwanego ciekłego metalu rzucane są na metalizowaną powierzchnię z prędkością od 150–200 m/s, przez co uzyskuje się cząsteczki prawie o jednakowych wymiarach w granicach od 0,05 do 0,10 mm oraz stopień wypełnienia formowanej warstwy metalizacji grubocząsteczkowej do 70% objętości.

Sposób wykonywania powłoki ochronnej na elementach wymienników ciepła z natryskiem proszkiem, zwłaszcza na ekranach palenisk kotłów energetycznych przedstawiony jest w opisie zgłoszeniowym PL384460A1. Trójfazowe nakładanie tej powłoki, gdzie w pierwszej fazie dokonuje się strumieniowo-ścierne oczyszczanie podłoża, w drugiej fazie dokonuje się termiczne natryskiwanie proszkiem aluminiowym, a w trzeciej fazie przeprowadza się uodpornienie wierzchniej warstwy wykonanej powłoki przed korozją gazową wysokotemperaturową do postaci tlenku aluminium oraz zainicjowanie dyfuzji aluminium do podłoża i powłoki przez nagrzewanie polega na tym, że w pierwszej fazie prowadzi się strumieniowo-ścierne oczyszczanie podłoża do chropowatości minimum Rz 15 µm, maksimum Rz 100 µm, korzystnie Rz 70 µm, w drugiej fazie nakłada się termicznie metodą łukową powłokę z materiału o zawartości aluminium (Al) w zakresie od 50% do 100%, korzystnie 95% i grubości minimum 20 µm, korzystnie 400 µm oraz o porowatości do 50%, korzystnie od 4–17%, a w trzeciej fazie nagrzewanie prowadzi się w temperaturze do 800°C przez okres minimum 2 godzin.

Rozwiązanie znane z opisu zgłoszeniowego PL384541A1 dotyczy zastosowania dwuwarstwowej powłoki ochronnej na rurowych ekranach komór paleniskowych. Warstwa pierwsza, nakładana metodą łukową lub płomieniową o grubości korzystnie od 1400 do 500 µm, najkorzystniej złożona jest z 30% chromu, 15% wolframu, 7% molibdenu, 7% manganu, 7% boru, 3% węgla, 3% krzemu i z żelaza, a warstwa druga, nakładana metodą plazmową lub metodą naddźwiękową HVOR ma grubość korzystnie od 200 µm do 300 µm i złożona jest z kobaltu jako bazy oraz z 10% do 50%, najkorzystniej 40% chromu, z 8% do 45%, najkorzystniej 25% niklu, z 1% do 10%, najkorzystniej 3% molibdenu, z 0,5% do 10% najkorzystniej 3% aluminium, z 1% do 12%, najkorzystniej 6% węgla, z 0,5% do 7%, najkorzystniej 2% krzemu, z 0,5% do 10%, najkorzystniej 2% boru.

Sposób wytwarzania powłok na elementach wykonanych z materiałów przewodzących energię elektryczną znany jest z opisu zgłoszeniowego PL387176 A1. Polega on na tym, że w pierwszym etapie przygotowuje się podłoże, w drugim etapie nanosi się na podłoże dowolną metodą natryskiwania cieplnego, korzystnie płomieniową, powłokę o grubości od 0,05 mm do 5 mm, a w trzecim etapie generuje się łuk elektryczny, doprowadzając potencjał elektryczny do elektrody korzystnie wykonanej z wolframu lub wolframu z dodatkiem toru w granicach od 0,5% do 5%, korzystnie 2–3% oraz do przewodzącego energię elektryczną podłoża z naniesioną powłoką. Następnie przeprowadza się jej przetapianie, przy czym odległość elektrody od powierzchni powłoki wynosi od 1 mm do 5 mm, korzystnie 1,5 mm, natężenie prądu procesu wynosi od 10 A do 500 A, korzystnie 120 A, prędkość przemieszczania się elektrody względem powierzchni powłoki wynosi od 1 mm/s do 20 mm/s, korzystnie 5 mm/s, a grubość elektrody wynosi od 1 mm do 5 mm, korzystnie 3,5 mm.

Dla podniesienia trwałości walca hutniczego lub rolki, przedstawiono w opisie zgłoszeniowym PL 408099A1 sposób, w którym na przynajmniej część co najmniej jednej powierzchni roboczej walca, nachylonej pod kątem mniejszym niż 30° w stosunku do osi obrotu walca oraz na co najmniej części co najmniej jednej powierzchni roboczej walca, nachylonej pod kątem większym niż 45° w stosunku do osi obrotu walca, wykonuje się metodą natrysku cieplnego powłoki trudnościeralne z materiału

zawierającego węglík wolframu i/lub węglík chromu, korzystnie w osnowie kobaltu i/lub chromu, i/lub niklu, o grubości do 4 mm, korzystnie od 0,03 mm do 0,5 mm. Przynajmniej części co najmniej jednej powierzchni roboczej walca, nachylonej pod kątem większym niż 45° w stosunku do osi obrotu walca, grubość nakładanej powłoki trudnościeralnej z materiału zawierającego węglík wolframu i/lub węglík chromu, korzystnie w osnowie kobaltu i/lub chromu, i/lub niklu, jest większa co najmniej 10%, korzystnie od 50% do 100%, od grubości powłoki trudnościeralnej na powierzchniach roboczych, nachylonych pod kątem mniejszym niż 30° w stosunku do osi obrotu walca.

Podobnie w opisie zgłoszeniowym PL408100, też przedstawiony jest sposób podniesienia trwałości lub regeneracji walca hutniczego. Polega on na tym, że na przynajmniej części co najmniej jednej powierzchni roboczej walca, nachylonej pod kątem mniejszym niż 30° w stosunku do osi obrotu walca, wykonuje się powłokę trudnościeralną poprzez natryśnięcie metodą natrysku cieplnego co najmniej jednej warstwy z materiału, zawierającego węglík wolframu i/lub węglík chromu, korzystnie w osnowie kobaltu i/lub chromu, i/lub niklu, o łącznej grubości do 3 mm, korzystnie od 0,03 mm do 0,8 mm, oraz na przynajmniej części co najmniej jednej powierzchni roboczej walca, nachylonej pod kątem większym niż 45° w stosunku do osi obrotu walca, wykonuje się powłokę trudnościeralną poprzez napawanie, korzystnie napawanie laserowe, co najmniej jednej warstwy materiału trudnościeralnego o łącznej grubości od 0,2 mm do 5 mm, korzystnie od 1,2 mm do 2,5 mm i twardości co najmniej 5 HRC, korzystnie 10–20 HRC, większej od twardości materiału walca, przy czym grubość nakładanej powłoki trudnościeralnej na powierzchniach jest co najmniej o 20% większa, korzystnie 4–6 razy większa od średniej grubości powłoki trudnościeralnej na powierzchniach.

W metodzie formowania materiałów kompozytowych reflektora CN105437569 przedstawiony jest sposób ultradźwiękowego natryskiwania łukiem elektrycznym powłoki metalowej na powierzchnię odbijającą korpusu reflektora w celu zmniejszenia grubości owej powłoki i unikania deformacji materiału pod wpływem wysokich temperatur.

W „Metody natryskiwania cieplnego”, [J. Miszczok i in., Pol. Śląska, WiMiM] omówiono różne metody natryskiwania cieplnego. Norma PN-EN 657 podaje definicję natryskiwania cieplnego jako proces, w którym materiał powłokowy jest nagrzewany do stanu plastycznego lub ciekłego wewnątrz lub na zewnątrz pistoletu do natryskiwania, a następnie rozpylany i наносzony na przygotowaną powierzchnię, przy czym powierzchnia ta nie jest nadtapiana.

Natryskiwanie cieplne jest grupą metod, w których stopiony lub ciastowaty materiał powłoki jest наносzony na powierzchnię wcześniej przygotowanego podłoża.

Na powłoki stosuje się czyste metale, stopy metali, ceramiki (tlenki, węgliki, azotki, borki i niektóre szkła), związki metaliczne (siarczki, krzemki, cermetale, związki międzymetaliczne), niektóre materiały polimerowe (epoksydy, nylon, teflon i inne). Powłoki z tych materiałów nakłada się na metale, ceramiki, szkła, niektóre maty plastyczne, drewno i papier.

Najczęściej metody natryskiwania cieplnego używa się do наносzenia metali na materiały niemetalowe. Metodę tę nazwano „metalizowaniem”. W „Open Access Library”, Vol. 5/2011, „Technologie natryskiwania cieplnego warstw powierzchniowych” omówiono różne metody natryskiwania cieplnego.

Na powłoki stosuje się następujące materiały:

- czyste metale,
- stopy metali,
- ceramiki (tlenki, węgliki, azotki, borki i niektóre szkła),
- związki metaliczne (siarczki, krzemki, cermetale, związki międzymetaliczne),
- niektóre materiały polimerowe (epoksydy, nylon, teflon i inne).

Powłoki z tych materiałów nakłada się na podłożu z materiałów znacznie mniej kosztownych lub łatwiej dostępnych niż powłoka, w tym na metale, ceramiki, szkła, niektóre materiały polimerowe, drewno i papier. Najczęściej metody natryskiwania cieplnego używa się do наносzenia metali na materiały niemetalowe, wobec czego metodę tę nazwano „metalizowaniem”.

Drut lity lub proszkowy, pręt lub proszek materiału pokrycia jest umieszczany w płomieniu gazowym, łuku elektrycznym lub plazmowym, gdzie następuje jego stopienie i rozdrobnienie przez strumień gazu, takiego jak argon, azot, lub sprężone powietrze albo w płomieniu gazowym. Strumień gazu poruszając ciekłe cząstki o średnicy 0,01–0,05 mm kieruje je na powierzchnię pokrywanego elementu, o którą uderzają, chłodzą się na niej i łączą się z nią. Na podłożu przekazywane jest niewiele ciepła, w wyniku czego jego temperatura podnosi się jedynie do 100–250°C. Natryskiwanie cieplne nie powoduje zatem zmian strukturalnych lub odkształcenia plastycznego podłoża, a tego typu pokrycia mogą

być m.in. stosowane do cienkich i precyzyjnych elementów oraz do materiałów podatnych na oddziaływanie ciepła, np. do materiałów polimerowych. Natryskiwana powłoka ma strukturę warstwową o różnej koncentracji porów, która może dochodzić nawet do 20%. Grubość powłok jest na ogół większa niż grubość otrzymywana innymi technikami powlekania powierzchni i zwykle mieści się w przedziale 0,05–2,5 mm, chociaż może sięgać do 12 mm. Uzyskiwane powłoki mogą być również cieńsze niż w przypadku pozostałych metod.

Pokrycia natryskiwane cieplnie zyskały liczne zastosowania praktyczne, a wśród nich zapewniające:

- ochronę przeciwkorozyjną – Zn lub Al natryskiwane na żeliwa lub stale powodują zwiększenie odporności na korozję, w wyniku czego przedłuża się trwałość mostów, budynków i innych elementów infrastruktury; wewnętrzne powierzchnie kotłów mogą być pokrywane stopami wysokochromowymi w celu zwiększenia ich żaroodporności i odporności na korozję;
- utwardzanie powierzchniowe – stosowane, gdy wymagana jest mniejsza grubość niż możliwa do uzyskania przez napawanie; typowymi zastosowaniami są cylindry silników samochodowych, pierścienie tłokowe, elementy maszyn tekstylnych, elementy pomp i łożysk; naprawę ubytków powierzchniowych – powierzchnie uszkodzone w wyniku wad technologicznych lub w trakcie eksploatacji mogą być regenerowane przez uzupełnienie ubytków; najczęściej dotyczy to elementów silników lotniczych;
- przewodnictwo elektryczne – możliwe jest zapewnienie przewodnictwa elektrycznego na powierzchni słabych przewodników lub materiałów nieprzewodzących prądu elektrycznego; Cu, Al lub Ag są natryskiwane na podłoże ze szkła lub materiałów polimerowych oraz odwrotnie na powierzchnie przewodników są nanoszone warstwy izolacyjne z Al_2O_3 ;
- porowatość powierzchni – porowate pokrycia Co lub Ti, a także materiałów ceramicznych są natryskiwane na implanty medyczne w celu zapewnienia adhezji i wzrostu kości lub tkanek;
- pokrywanie metalami szlachetnymi lub o dużych kosztach – stosowane, gdy niemożliwe jest wykonanie konwencjonalnego platerowania; ze względu na czynniki technologiczne lub ekonomiczne;
- efekty dekoracyjne – materiały dekoracyjne są natryskiwane na różne produkty oraz na elementy obiektów architektonicznych;
- odbicie światła – przez natryskiwanie Al na powierzchnię szkła uzyskuje się lustra.

Do negatywnych cech procesu natryskiwania cieplnego zalicza się straty materiału użytkowanego do wytwarzania powłok. Część cząstek natrykiwanych nie osiada bowiem na materiale podłoża. Cząstki znajdujące się na obrzeżach strumienia natryskowego są gwałtownie chłodzone, mają poza tym mniejszą prędkość i w wyniku tego za małą energię, aby ulec odkształceniu i w konsekwencji tego osadzeniu na powierzchni podłoża. W przypadku materiałów powłok o niskiej temperaturze topnienia, część cząstek wyparowuje. Wielkość tych strat wynikających z istoty procesu technologicznego, zależy z jednej strony od temperatury topnienia i parowania materiału powłoki, a z drugiej – od metody natryskiwania, rozwiązania konstrukcyjnego pistoletu do natryskiwania i warunków natryskiwania, a głównie od odległości natryskiwania. Wielkość strat powstająca wskutek stosowania różnych materiałów powłok i pistoletów o zróżnicowanej konstrukcji może mieć zatem istotny wpływ na koszty wytwarzania powłoki.

Szerokiemu zastosowaniu natryskiwania cieplnego sprzyja również wykorzystanie ostatnio do tego procesu nowoczesnych urządzeń łukowych, umożliwiających podniesienie jakości powłok i istotne obniżenie kosztów nakładania. W przypadku większych, ciężkich elementów koszt nakładania cynkowej powłoki natryskiwanej cieplnie jest porównywalny z kosztem powłoki zanurzeniowej. Wśród znanych i stosowanych metod wyróżnia się technologie natryskiwania cieplnego:

- płomieniowe klasyczne lub poddźwiękowe,
- płomieniowe naddźwiękowe HVOF i HP/HVOF (j. ang.: high velocity oxy fuel),
- łukowe,
- plazmowe.

Poniższa tablica przedstawia porównanie podstawowych metod natryskiwania cieplnego (opracowanie według danych E.P. Degarmo, J.T. Blacka i R.A. Kohsera oraz A. Klimpla).

Metoda	Źródło ciepła	Temperatura procesu °C	Nanoszony materiał	Prędkość uderzających cząstek m/s	Przyczepność
Natryskiwanie płomieniowe - drutem	płomień	3000	metale	180	średnia
- proszkiem			metale, ceramika, materiały polimerowe	30	niska
Natryskiwanie naddźwiękowe			metale, węgliki	600 - 1200	b. wysoka
Natryskiwanie łukowe	łuk elektryczny	5000-6000	tylko metale	250	wysoka
Natryskiwanie plazmowe		8000-20000	wszystkie	250 - 1200	wysoka

W natryskiwaniu płomieniowym wykorzystuje się spalanie paliwa (zazwyczaj propanu lub acetyleny) w tlenie w celu roztopienia materiału mającego utworzyć powłokę. Materiał może być podawany w formie drutu, proszku lub pręta. Przy zastosowaniu drutu (CWS) o średnicy 5 mm wydajność stapiania jest do 10 kg/h, zaś ciśnienie gazu rozpylająco-transportującego dochodzi do 1 MPa. Stosuje się odległość wylotu dyszy od natrykiwanego podłoża 100–250 mm.

Natryskiwanie płomieniowe przy zastosowaniu proszku (CPS) umożliwia nanoszenie powłok metalowych o niemal dowolnym składzie oraz niektórych powłok ceramicznych i ceramiczno-metalowych. Gazem transportującym najczęściej jest sprężone powietrze mieszane na wylocie z dyszy z mieszką palną. Wydajność stapiania zwykle nie przekracza 3 kg/h, ale może być wyższa przy metalach niskotopliwych. Metody te stosuje się do regeneracji zużytych części stalowych lub z brązu, w sytuacji gdy jest dobre odprowadzanie dużych ilości ciepła przez natrykiwane podłoże.

Przy natryskiwaniu płomieniowym naddźwiękowym cząstki metalu powłokowego osiągają prędkość od 600 do 1200 m/s. Najczęściej stosuje się podobne gazy co powyżej: propan, wodór, propylen. Powłoki natryskane mają bardzo niską porowatość i małą zawartość tlenków oraz bardzo dużą wytrzymałość obszaru dyfuzyjnego połączenia powłoki z natrykiwanym podłożem.

Ze względu na relatywnie niską temperaturę oraz stosunkowo niewielką szybkość cząsteczek natrykiwanego materiału, uzyskiwana powłoka w wyniku natryskiwania płomieniowego charakteryzuje się porowatością do 10% i stosunkowo małą przyczepnością. Natryskiwanie płomieniowe stosuje się, jeśli konieczne jest ograniczenie kosztów, natomiast niższa jakość pokrycia jest akceptowalna. Typowe aplikacje to:

- ochrona przed korozją elementów i całych konstrukcji (np. mostów, platform wiertniczych, butli z ciekłym paliwem gazowym) warstwami z aluminium lub cynku; aluminium jest bardziej kosztowne, ale jest odporne na kwaśną atmosferę (występującą podczas przetwarzania paliw kopalnych) i roztwory obojętne, natomiast cynk wykazuje odporność na korozję zasadową, regeneracja zużytych elementów (zazwyczaj stalowych lub ze stopów miedzi), zwłaszcza wałków w miejscu łożyskowania; powłoki są dość porowate, więc substancje smarujące mogą wnikać w pory polepszając pracę łożyska,
- nanoszenie powłok polimerowych.

Przy natryskiwaniu plazmowym (APS) proszek metaliczny (lub z niemetalu) stapiany jest w strumieniu plazmy i roztopione cząstki kierowane są przez strumień gazu plazmowego na pokrywającą powierzchnię. Łuk plazmowy o temperaturze do ok. 16 000 °C jest zajarzany między nietopliwą katodą wolframową a anodą miedzianą, stanowiącą równocześnie dyszę wylotową dla strumienia plazmy i natrykiwanych cząstek. Aby zabezpieczyć elektrody przed stopieniem, palnik plazmowy jest intensywnie chłodzony wodą. Jako gazy plazmowe stosuje się argon lub azot, a jako gaz pomocniczy wodór lub hel. Gazy służą do wytworzenia plazmy, stabilizacji jarzenia się łuku wewnątrz palnika i przenoszenia proszku plazmowego. Dla uzyskania powłok odpornych na ścieranie stosuje się druty z rdzeniem i płaszczem. Tę metodę stosuje się również na pokrycia antykorozyjne z cynku lub aluminium dla dużych elementów takich jak mosty.

W celu porównania różnych metod natryskiwania zestawiono poniżej ich parametry.

	Adhezja MPa	Zawartość tlenków	Porowatość %	Prędkość nanoszenia kg/h	Typowa grubość powłoki mm
Płomieniowe	< 8	10 - 15	10 - 15	1 - 10	0,2 - 10
Łukowe	10 - 30	10 - 20	5 - 10	6 - 60	0,2 - 10
Plazmowe	20 - 70	1 - 3	5 - 10	1 - 5	0,2 - 2
Naddźwiękowe	> 70	1 - 2	1 - 2	1 - 5	0,2 - 2

Powłoki natryskiwane płomieniowo naddźwiękowo (HVOF) przy zastosowaniu proszków: na bazie miedzi – charakteryzuje dobra przewodność cieplna i elektryczna, na bazie niklu – charakteryzuje wysoka przyczepność do podłoża, żaroodporność i odporność na korozję.

Typowymi właściwościami powłok natryskiwanych cieplnie w zależności od zastosowanych materiałów i warunków ich pracy są między innymi:

- odporność na korozję – np. stosując cynk, aluminium, stal kwasoodporną;
- żarowytrzymałość – np. stosując tlenki aluminium i tlenki tytanu;
- właściwości trybologiczne – np. stosując stop łożyskowy (babbit), brąz;
- odporność na ścieranie – np. węgliki wolframu, węgliki chromu, tlenek chromu;
- cieplną i elektryczną przewodność – np. stosując miedź;
- dobrą obrabialność – np. stosując stale niskowęglowe, stale niskostopowe;

Powłoki wykonane z proszku na bazie kobaltu zapewniają odporność na korozję w wysokich temperaturach oraz wysoką odporność na zużycie erozyjne, na bazie chromu zapewniają odporność na zużycie przez tarcie, kawitację i erozję metali w temperaturach 540–815°C, na bazie wolframu zapewniają odporność na zużycie przez tarcie w temperaturach do 500°C, na bazie niklu zapewniają wysoką przyczepność do podłoża, żaroodporność i odporność na korozję.

Prawie wszystkie te metody stosowane są do dużych lub stosunkowo dużych gabarytowo elementów, jak wały przekładni i reduktorów, czopy na wałach 5–6 metrowych, łopatki turbin parowych, łopatki turbin wodnych itp.

Przed natryskiwaniem przygotowuje się powierzchnię podłoża poprzez piaskowanie, zwykle sprężonym strumieniem wody z domieszką ścierniwa – tak zwana obróbka hydro-ścierna, która nie uszkadza struktury materiału podłoża, a po splukaniu suszy się element natryskiwany w suszarce.

W natryskiwaniu łukowym rolę elektrod, pomiędzy którymi dochodzi do wyładowania pełni para drutów z materiału przewodzącego elektrycznie, litych lub proszkowych podawanych z taką samą prędkością. Strumień gazu podawany w obszar łuku powoduje rozpylenie roztopionego metalu i kieruje go na podłoże. Druty pełnią rolę elektrod, pomiędzy którymi dochodzi do wyładowania. Stopiony materiał jest atomizowany sprężonym powietrzem i przyspieszany w kierunku podłoża. Częstki materiału uderzając w podłoże, gwałtownie chłodzą się i zestalając tworzą powłokę.

Poprawnie realizowany proces natryskiwania łukowego określa się mianem „cold process” – zimnego procesu, ponieważ temperatura podłoża pozostaje niska, zapobiega to jego uszkodzeniom, odkształcaniu i zmianom składu chemicznego. Nie zawsze jednak jest to pożądane, nakładanie gorącej warstwy na zimne podłoże prowadzi do generacji większej ilości naprężeń podczas stygnięcia. Z tego powodu czasem podczas natryskiwania łukowego używa się dodatkowego palnika do grzania podłoża.

Średnica drutu to typowo 2–5 mm, cząstki mogą osiągać prędkości do 150 m/s. Palnik zasilany jest zwykle mocą 5–10 kW, temperatura w łuku może osiągać 6100°C przy prądzie 280 A. Napięcie łuku wynosi typowo 20–40 V. Uzyskuje się warstwy o porowatości 10–20%, o grubości zwykle 0,1–1,5 mm.

Przy natryskiwaniu łukowym źródłem ciepła wykorzystanym do stopienia materiału jest łuk elektryczny zajarzony między końcówkami dwóch drutów podawanych równomiernie do urządzenia metalizacyjnego. Temperatura łuku jest wyższa niż przy natryskiwaniu płomieniowym i zwykle wynosi ok. 4000–5000°C. Sprężone powietrze wprowadzone centralnie w obszar łuku rozpyla i przyspiesza stopione cząstki metalu.

Ze względu na wysoką wydajność procesu, natryskiwanie łukowe stosuje się głównie do nakładania powłok antykorozyjnych cynkowych i aluminiowych na dużych konstrukcjach, a także do nakładania

metalowych powłok regeneracyjnych. Wysoka temperatura łuku może powodować większe wypalanie węgla i składników stopowych zawartych w stali niż przy natryskiwaniu płomieniowym.

Do natryskiwania łukowego można stosować zarówno druty pełne, wykonane z danego stopu metalu, jak również druty proszkowe zawierające w otulinie stalowej mieszaninę proszków metali czy nawet dodatek węglików. Możliwe jest również natryskiwanie z wykorzystaniem dwóch drutów wykonanych z różnych materiałów. Własności użytkowe wytworzonych w ten sposób powłok są wypadkową własności zastosowanych materiałów. Powłoki wytworzone techniką natryskiwania łukowego są zwykle gęstsze i wytrzymalsze niż naniesione natryskiwaniem płomieniowym. Niskie koszty, duża prędkość nanoszenia i efektywność sprawiają, że natryskiwaniem łukowym można pokrywać duże powierzchnie. Wadą natryskiwania łukowego jest konieczność stosowania drutów przewodzących elektryczność, a jeśli istnieje potrzeba grzania podłoża podczas nanoszenia, trzeba stosować osobne źródło ciepła. Oprócz drutów z jednolitych metali i stopów stosuje się druty złożone z rdzenia i płaszczu (np.: WC-W₂C w powłoce Co), zwykle płaszcz ma 50-proc. udział w kompozycji. Procesy natryskiwania cieplnego stosowane są na pokrycia ochronne, aluminiowe lub modyfikowane na osnowie aluminium, takie jak: Al-Si, Al-Cr, Al-Pt, Pt-Al-Cr, co umożliwia zwiększenie maksymalnej temperatury pracy powyżej 1100°C, w której spełniane są wymagania odpowiednich własności użytkowych przez stopy Ni krystalizowane kierunkowo oraz monokryształy.

Dalsze możliwości zwiększania temperatury pracy, zwłaszcza na elementy turbin gazowych, poprzez modyfikację składu chemicznego stopów lub technologii otrzymywania elementów są coraz bardziej ograniczone. Pokrycia opisywane ogólnie jako MeCrAlY, gdzie Me to Co, Ni, NiCo, a także CoNiCrAlYHfSi oraz CoCrAlYSi oraz pokrycia typu barier cieplnych TBC (j. ang.: thermal barrier coating), tworzących izolację cieplną chroniącą stop przed oddziaływaniem wysokiej temperatury. Materiałem na te pokrycia jest ZrO₂-Y₂O₃ lub Al₂O₃, Al₂O₃+5% Ni, a jako międzywarstwy stosowane są pokrycia typu Me-CrAl. Rodzaj i morfologia warstw w różnym stopniu oddziałują na trwałość zmęczeniową stopów niklu z pokryciami. Najkorzystniej zachowują się warstwy adhezyjno-dyfuzyjne.

W. Milewski, A. Olbrycht, S. Pawlik [„Wpływ rodzaju układu rozpylającego i sposobu natryskiwania na koszty wykonania powłok natryskiwanych łukowo”, Przegląd Spawalnictwa, Volume: R. 84, nr 9, 2012] omówili wyniki badań wpływu odległości natryskiwania, kąta natryskiwania, napięcia łuku, ciśnienia powietrza rozpylającego, rodzaju materiału powłokowego oraz rodzaju układu rozpylającego w pistoletach łukowych na wielkość strat materiału powłokowego, a więc koszty materiałowe. Badania wykonane zgodnie z normą PN-EN ISO 17836 wykazały, że przy nadmiernym zwiększeniu odległości natryskiwania koszty materiałowe mogą wzrosnąć nawet dwukrotnie. Stwierdzono, że dzięki zastosowaniu stopu Zn-Al zamiast Zn można koszty materiałowe zmniejszyć o ok. 10÷12%.

Badano zastosowanie drutów proszkowych do łukowego natryskiwania powłok [W. Milewski, A. Olbrycht, S. Pawlik, H. Pokhmurska, „Zastosowanie drutów proszkowych do łukowego natryskiwania powłok żaroodpornych”, Inżynieria Powierzchni, Volume: 19, Issue: 4, IMP, Warszawa 2014] i przedstawiono wyniki natryskiwania łukowego wielowarstwowej powłoki składającej się z międzywarstwy NiAl, warstwy z drutu proszkowego (Fe-Cr) oraz Al. Zbadano żaroodporność powłoki, jej odporność na zużycie oraz przeprowadzono badania metalograficzne. Stwierdzono, że natryskana wielowarstwowa powłoka bardzo dobrze zabezpiecza przed utlenianiem stalowe podłoże w temp. 550°C i 900°C.

Zdaniem Z. Kurzyny [„Kształtowanie powierzchni wewnętrznych cylindrów technologią natryskiwania cieplnego metali” Pol. Rzeszowska, Rzeszów,] grubość powłoki natryskiwanej łukowo wynosi około 0,2–2 mm, porowatość około 5–10%, zawartość tlenków do 10%. Największy wpływ na porowatość powłoki ma ciśnienie i wydajność gazu jak również odległość palnika od powierzchni natryskiwanej. Małe wymiary rozpylonych cząstek ograniczają nagrzewanie podłoża, którego temperatura nie przekracza 100°C. Natryskiwanie łukowe jest najtańszym procesem natryskiwania cieplnego.

Przy natryskiwaniu powłok stalowych należy unikać powstawania tlenków Fe₂O₃, które są materiałem ściernym. Przy wysokich temperaturach natryskiwania może dochodzić do wypalania niektórych składników materiału. Podczas natryskiwania łukowego stali ubywa do 45% węgla i do 50% krzemu i manganu. [T. Szulc, „Natryskiwanie termiczne”].

Natryskiwanie łukowe stosowane jest w wielu gałęziach przemysłu. Firma Mercedes – Benz opracowała i wprowadziła do seryjnej produkcji technologię łukowego natryskiwania cieplnego gładzi cylindra. Druty ze stopu żelaza z węglem są topione w łuku elektrycznym, a stopiony materiał jest rozpylany na ścianie cylindra. Powłoka jest następnie poddawana gładzeniu, którego efektem jest bardzo gładka,

lustrzana powierzchnia. W trakcie procesu gładzenia odślaniane są pory w materiale powłoki stanowiące mikrozbiorniki oleju. Technologię natryskiwania ciepłego łukiem elektrycznym stosuje również BMW w sześciocyndrowych silnikach samochodów sportowych BMW M3 sedan oraz BMW M4 Coupe.

Metodę wytwarzania powłoki odpornej na korozję i ścieranie za pomocą naddźwiękowego elektrycznego natryskiwania łukowego ujawnia opis CN105331920. Metoda ta obejmuje kilka etapów. Matryca jest czyszczona szorstkim elementem, przez co usuwane są z niej zanieczyszczenia, wykorzystuje się tester chropowatości do przeprowadzenia kontroli jakości części matrycy poddawanej natryskiwaniu. Do natryskiwania używany jest materiał odporny na ścieranie taki jak stop monelu lub stop kobaltowo-złoty lub stop niklowo-wolframowy lub wybrany twardy kompozyt. Naddźwiękowe elektryczne natryskiwanie łukowe przeprowadza się na części przygotowanej warstwy metalu, przy czym prędkość rozpylania wynosi od 300 m/s do 400 m/s. Przeprowadza się je niezależnie od napięcia powierzchniowego na powłoce, przy czym suszenie przeprowadza się w temperaturze w zakresie od 800°C do 1200°C. Warstwa odporna na korozję i ścieranie jest przygotowana, jeśli twardość powłoki wynosi HV397. Powłoka ma budowę strukturalną, wskaźnik porowatości powłoki wynosi od 0,9% do 2,3%, a średnia wielkość natryskiwanych cząstek wynosi 4,32 mikrometrów. Otrzymana powłoka jest bardziej spoista, ma niższy wskaźnik porowatości, jest bardziej zwarta, nie jest zdeformowana, oraz posiada wysoką odporność na korozję i ścieranie.

W opisie zgłoszeniowym EP2845655A1 omówiony jest sposób łukowego natryskiwania na korek materiału powłoki ochronnej zawierającej tlenek żelaza. Optymalną była odległość 1000 mm od łuku do natryskiwanej powierzchni.

Ujawniona w opisie CN105385978A metoda elektrycznego natryskiwania łukowego obejmuje etap wstępnej obróbki materiału podłoża, podgrzewanie, wybranie właściwego napięcia elektrycznego natryskiwania łukowego oraz odpowiedniego strumienia natrysku elektrycznego natryskiwania łukowego i obróbki cieplnej. Materiał podstawowy zawiera stal węglową taką jak Q235 i stop magnezu. Wstępna obróbka powierzchni materiału podstawowego obejmuje oczyszczanie powierzchni i piaskowanie. Napięcie elektryczne natryskiwania łukowego wynosi 20 V–50 V, a natężenie prądu w elektrycznym natryskiwaniu łukowym wynosi 140–160 A. Rozpylanym materiałem jest drut aluminiowy lub stal 3Cr13, odległość natryskiwania wynosi od 130 mm do 200 mm. Temperatura obróbki wstępnej i obróbki cieplnej wynosi do 100°C do 300°C. Metoda ta stosowana jest do natryskiwania powierzchni ze stopu magnezu i zwykłej stali węglowej.

Natryskiwanie łukowe drutem rdzeniowym stosowanym do ponownego stopienia ujawnione jest w opisie CN103173711A. Sproszkowany rdzeń zawiera w sobie składniki, odpowiednio masowo wynoszące: 6–15% Ni, 5–13% Cr, 4–8% Al, 5% B, 3% Nb oraz 1–3% mieszanki bazowo-niklowej. Mieszanka bazowo-niklowa (RE) zawiera w sobie składniki, odpowiednio masowo wynoszące: 60% Ni i 40% mieszanki RE. Mieszanka RE zawiera w sobie składniki, odpowiednio masowo wynoszące: 25–28% La, 48–52% Ce, 14–17% Nb oraz 4–6% Pu. Sproszkowany rdzeń równoważy Fe. Powłoka po natryskiwaniu łukowym zapewnia wynalazkowi średnią twardość na poziomie 530 HV0.1, średnią wytrzymałość spoiwa na poziomie 38 MPa, średnią porowatość na poziomie 14,2% oraz średnią zawartość tlenu na poziomie 8,72%. Po ponownym naprawczym przetopieniu średnia twardość powłoki zwiększyła się do poziomu 770 HV0.1 oraz zasadniczo tworzy wiązanie metalurgiczne z podłożem. Po ponownym przetopieniu materiał powłoki drutu ma dobrą odporność na ścieranie, odporność na erozję oraz odporność na obciążenia.

Celem wynalazku jest rozwiązanie naniesienia powłoki ochronnej na wykonane ze stosunkowo cienkiej blachy stalowej żebra ślimaka, eliminując oddziaływanie dużych ilości ciepła na blachę, które powodują przemiany mikrostrukturalne w materiale rodzimym. Wymaga to zarówno określenia zamierzonego składu powłoki, jak i sposobu jej nanoszenia.

Istotą rozwiązania według wynalazku jest natryskiwana łukowo powłoka z materiału powłokowego w postaci drutu proszkowego o składzie wagowym: 0,9% do 1,1% węgla, korzystnie 1,0% węgla C, 1,3% do 1,5% krzemu Si, korzystnie 1,4% krzemu Si, manganu Mn 0,85% do 1,0%, korzystnie 0,9% manganu Mn, chromu Cr 22% do 24%, korzystnie 22,5% chromu Cr, wanadu W 1,2% do 1,7%, korzystnie 1,5% wanadu W, boru 4,2% do 4,5%, korzystnie 4,2% boru B, molibdenu Mo 2,8% do 3,2%, korzystnie 3,0% molibdenu Mo i w pozostałej części osnowy żelaza Fe z niezbędnymi składnikami topliwymi, przy czym średnia wartość porowatości jest od 4 do 2%, korzystnie 2%. Korzystnie natryskiwane łukowo kolejne warstewki spojone są energią ciśnienia powyżej 5 bar gazu transportującego podawanego z odległości 75 do 85 mm od natryskiwanej powierzchni.

Nieoczekiwanie okazało się, że po dodaniu molibdenu Mo do składu drutów proszkowych stosowanych jako elektrody do natryskiwania łukowego i przy zmianie parametrów natryskiwania łukowego poprzez zwiększenie prędkości liniowej, przesuwu łuku elektrycznego jarzonego nad powierzchnią blachy powyżej 40 m/min, przy zmniejszonym natężeniu prądu zasilającego łuk elektryczny do 130 A oraz przy zwiększonym do ponad 5 bar ciśnieniu gazu transportującego cząsteczki do natryskiwanej powłoki, powłoka na cienkiej blasze posiada nie tylko lepsze właściwości mechaniczne, ale że uzyskano również redukcję porowatości do wartości średniej wynoszącej 2%. Struktura krystaliczna natryskiwanej blachy nie uległa pogorszeniu, gdyż ilość ciepła przekazywanego podczas natryskiwania została istotnie zredukowana. W konwencjonalnym aspekcie parametrowym porowatość natryskiwanej łukowo powłoki wynosi ona najmniej 5%. Zmniejszona zawartość porów w objętości powłoki zmniejsza, lub całkowicie eliminuje, ryzyko powstania kanałów dwukierunkowej dyfuzji substratów z korozyjnego środowiska pracy do podłoża oraz składników podłoża ponad powierzchnię powłoki, a tym samym znacznie zmniejszone zostało ryzyko powstawania korozji podpowłokowej.

Przekrój powłoki w powiększeniu mikroskopowym został przedstawiony na rysunku w Fig. 1 i Fig. 2.

Powłoka ochronna na powierzchnię ślimaka transportowego natryskiwana jest przy łuku elektrycznym z wykorzystaniem jako elektrod drutów proszkowych na osnowie żelaza i zawierających korzystnie mangan, chrom, wanad, bor, krzem i węgiel. Powłoka ochronna jest z materiału powłokowego w postaci drutu proszkowego o składzie wagowym: 0,9% do 1,1% węgla, korzystnie 1,0% węgla C, 1,3% do 1,5% krzemu Si, korzystnie 1,4% krzemu Si, manganu Mn 0,85% do 1,0%, korzystnie 0,9% manganu Mn, chromu Cr 22% do 24%, korzystnie 22,5% chromu Cr, wanadu W 1,2% do 1,7%, korzystnie 1,5% wanadu W, boru 4,2% do 4,5%, korzystnie 4,2% boru B, molibdenu Mo 2,8% do 3,2%, korzystnie 3,0% molibdenu Mo i w pozostałej części osnowy żelaza Fe z niezbędnymi składnikami topliwymi. Natryskiwanie łukowe prowadzone jest z odległości 75 do 85 mm od natryskiwanej powierzchni podłoża. Powłoka jest natryskiwana łukowo przy zredukowanym natężeniu prądu do wartości poniżej 135 A, korzystnie o wartości 130 A. Natryskiwane łukowo kolejne warstewki spojone są energią ciśnienia powyżej 5 bar gazu transportującego podawanego z odległości 75 do 85 mm od natryskiwanej powierzchni. Uzyskuje się powłokę ochronną o średniej wartości porowatości od 4 do 2%, korzystnie 2%, przy czym struktura krystaliczna natryskiwanej blachy nie uległa pogorszeniu.

Elementem przeznaczonym do natryskiwania jest część transportująca transportera ślimakowego wykonana ze stali niestopowej o relatywnie małej grubości w stosunku do jej powierzchni. Gotowy element w stanie dostawy przeznaczony do natryskiwania, w stanie finalnym musi charakteryzować się:

1. brakiem deformacji wynikających z odkształceń cieplnych,
2. powłoką zapewniającą trwałość eksploatacyjną w warunkach obciążenia znacznie przekraczającą osiąganą dotychczas trwałość czasową transporterów bez warstwy ochronnej,
3. możliwością zastosowania niekonwencjonalnych parametrów procesowych zapewniających zredukowanie porowatości i przez to uszczelnienie powłoki zmierzające do zwiększenia odporności korozyjnej,
4. możliwością zastosowania nowoczesnego materiału powłokowego w postaci drutu proszkowego o kompozycji chemicznej zapewniającej redukcję współczynnika tarcia oraz zwiększenie odporności na obciążenia udarowe.

Standardowo, spośród podstawowych parametrów procesowych podczas natryskiwania łukowego między innymi precyzyjnie ustala się natężenie prądu w zakresie od 200 do 400 A, napięcie łuku w zakresie 10–50 V, wartość odległości natryskiwania w zakresie 150–280 mm, ciśnienia i rodzaju gazu transportującego w zakresie 3–4 bar oraz rodzaj dyszy pistoletu. W standardowym ujęciu dostępne są ramowe zakresy parametrów dla określonych grup materiałów powłokowych.

Przez natryskiwanie łukowe zabezpiecza się powierzchnię pracującą ślimaków poprzez wytworzenie powłoki o podwyższonej twardości, zredukowanym współczynniku tarcia i bardzo małej porowatości. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu niekonwencjonalnych wariacji parametrów procesowych dających redukcję ilości wprowadzonego ciepła do materiału rodzimego i nowoczesnego materiału powłokowego w postaci drutu proszkowego. W tym procesie ślimaki uzyskują możliwość:

1. wydłużenia czasu eksploatacji w warunkach obciążenia,
2. regeneracji po okresie zużycia się powłoki ochronnej,
3. wytworzenia nowej powłoki zabezpieczającej.

Zastosowana metoda natryskiwania łukowego, gdzie ilość wprowadzonego ciepła jest na tyle mała, że wartość temperatury, do jakiej nagrzewają się detale, jest znacznie niższa niż temperatura

przemian mikrostrukturalnych w materiale rodzimym. Zatem, powstałe naprężenia podczas natryskiwania łukowego powierzchni mogą wynikać jedynie ze współczynnika rozszerzalności temperaturowej detali i są odwracalne. Pozostają zatem całkowicie bezpieczne także dla cienkich blach zwojów części ślimaka transportującego. W przykładzie realizacji wykorzystano urządzenie o największym natężeniu prądu wynoszącym 400 A wyposażone w inwertorowe źródło prądu z możliwością pracy synergicznej. Zastosowano pistolet z dyszą o układzie zamkniętym i prostymi przewodnikami drutu (nie kątowymi) oraz przewody transportujące o długości 3000 mm.

W aspekcie natryskiwania łukowego ślimaków transportujących zastosowano całkowicie odmienne i niestosowane dotychczas podejście, znacznie wykraczające poza zakres dopuszczalnych wartości parametrów procesowych.

Z biblioteki dostępnych materiałów konwencjonalnych nie wytypowano materiału spełniającego postawione wymagania. Zatem poddano modyfikacji materiał na osnwie żelaza, gdzie poza pierwiastkami takimi jak mangan, chrom, wolfram czy bor zastosowano zwiększoną ilość molibdenu wynoszącą 3% wagowych. Zastosowano materiał powłokowy w postaci drutu proszkowego o średnicy 1,6 mm. Zredukowano znacznie odległość natryskiwania do 80 mm, pomiędzy łukiem a powierzchnią natryskiwanej, przy jednoczesnym zredukowaniu natężenia prądu natryskiwania do wartości 130 A oraz zastosowano ciśnieniu gazu transportującego o podwyższonej wartości wynoszącej 5,2 bar przy prędkości liniowej natryskiwania wynoszącej 46 m/min. Stosując elektrodę 1,6 mm i kilkukrotne natryskiwanie uzyskano powłokę o grubości 1,1–1,2 mm. Wartości parametrów procesowych są zestawione w tabeli poniżej.

Parametr	Wartość
Natężenie prądu (A)	130
Napięcie prądu (V)	32
Odległość (mm)	80
Ciśnienie gazu (bar)	5,2
Prędkość (m/min)	46

Synergiczne źródło prądu zapewniło stabilność i powtarzalność zastosowanej wariacji parametrów procesowych. Jako gaz transportujący zastosowano powietrze dostarczone z układu sprężającego o mechanizmie śrubowym. Układ wyposażono w filtr wodny, olejowy i osuszacz i uzyskano powietrze o jakości powietrza syntetycznego o temperaturze wyższej od temperatury otoczenia o około 20°C. Wzrost temperatury wynika z obróbki mechanicznej powietrza. Alternatywnie możliwe jest zastosowanie powietrza syntetycznego. Uzyskano w ten sposób warunki termodynamiczne dla strumienia natryskowego, w którym drobiny docierające do materiału rodzimego, znajdowały się w stanie bliskim cieczy. Stąd zapotrzebowanie na energię kinetyczną strumienia, która zamieniana zostaje na energię odkształcenia plastycznego w czasie uderzania tych drobin w powierzchnię materiału rodzimego jest niewielkie. Drobiny łatwo odkształcają się dopasowując do rozwiniętej powierzchni podłoża, gdzie powłoka ulega zakleszczaniu i procesowi adhezji. Jednak mimo to, zwiększono ciśnienie gazu transportującego do 5,2 bar, przez co wytworzono dużą wartość energii kinetycznej drobin w strumieniu natryskowym. Następnie energia odkształcenia postaciowego zapewnia w dużym stopniu dokładne dopasowanie drobin do kształtu rozwiniętego podłoża.

Zastosowano materiał powłokowy w postaci drutu proszkowego o średnicy 1,6 mm. Poddano modyfikacji materiał na osnwie żelaza, gdzie poza pierwiastkami takimi jak mangan, chrom, wolfram czy bor zastosowano zwiększoną ilość molibdenu wynoszącą 3% wagowych.

Konwencjonalne materiały charakteryzują się twardością, jednak odporność eksploatacyjną w warunkach obciążenia ściernego zapewniają jedynie materiały o podwyższonej twardości i zredukowanym współczynniku tarcia. Zastosowana powłoka poprzez wzbogacenie składu chemicznego 3-proc. zawartością molibdenu zachowuje jednocześnie podwyższoną twardość, jak i mniejszy współczynnik tarcia oraz zwiększoną odporność na obciążenie udarowe.

Przez zastosowanie natryskiwania łukowego części transportującej ślimaków:

1. wyeliminowano wprowadzania dużej ilości ciepła napawania ślimaków, a także stosowania pracochłonnej metody napawania płaskich blach, wycinania, kształtowania i spawania piór transportujących do walca,

2. wyeliminowano oddziaływanie dużych ilości ciepła na elementy ślimaków transportujących wykonanych z cienkich blach, z efektem braku odkształceń wynikających z przemian mikrostrukturalnych w materiale rodzimym, przy temperaturze natryskiwanych blach nie przekraczającej 100°C,
3. znacznie zwiększono szczelność powłok poprzez redukcję porowatości do 2%,
4. uzyskano materiał powłokowy wzbogacony w zawartość molibdenu zapewniającego wzrost wartości parametrów eksploatacyjnych powłoki w warunkach naturalnego obciążenia.

Zastrzeżenia patentowe

1. Powłoka ochronna na powierzchnię ślimaka transportowego dla kotła o mocy do 250 kW, zwłaszcza retortowego kotła węglowego, natryskiwana jest przy łuku elektrycznym z materiału powłokowego w postaci z drutów proszkowych na osnowie żelaza i zawierają mangan, chrom, wanad, bor, krzem i węgiel jako elektrod, **znamienna tym**, że drut proszkowy ma skład wagowy: 0,9% do 1,1% węgla, korzystnie 1,0% węgla C, 1,3% do 1,5% krzemu Si, korzystnie 1,4% krzemu Si, manganu Mn 0,85% do 1,0%, korzystnie 0,9% manganu Mn, chromu Cr 22% do 24%, korzystnie 22,5% chromu Cr, wanadu W 1,2% do 1,7%, korzystnie 1,5% wanadu W, boru 4,2% do 4,5%, korzystnie 4,2% boru B, molibdenu Mo 2,8% do 3,2%, korzystnie 3,0% molibdenu Mo i w pozostałej części osnowy żelaza Fe z niezbędnymi składnikami topliwymi, przy czym średnia wartość porowatości jest od 4 do 2%, korzystnie 2%.
2. Powłoka według zastrz. 1, **znamienna tym**, że natryskiwane łukowo kolejne warstewki spojęne są energią ciśnienia powyżej 5 bar gazu transportującego podawanego z odległości 75 do 85 mm od natryskiwanej powierzchni.

Rysunki



Fig. 1



Fig. 2