RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **233987**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **424624**

(51) Int.Cl.
***B23P 6/00 (2006.01)***

(22) Data zgłoszenia: **20.02.2018**

(54) **Sposób poprawy trwałości narzędzia kuźniczego poprzez modyfikację jego warstwy wierzchniej**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
**26.08.2019 BUP 18/19**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
**31.12.2019 WUP 12/19**

(73) Uprawniony z patentu:
**POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:
**ZBIGNIEW GRONOSTAJSKI, Wrocław, PL**
**MARCIN KASZUBA, Pstrzejowice, PL**
**PAWEŁ WIDOMSKI, Wrocław, PL**

**PL 233987 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób poprawy trwałości narzędzia kuźniczego poprzez modyfikację jego warstwy wierzchniej, przeznaczonego do stosowania w przemysłowych procesach kucia na ciepło i gorąco.

Główną przyczyną niskiej trwałości narzędzi stosowanych w przemysłowych procesach kucia są ekstremalnie ciężkie warunki ich pracy. W czasie eksploatacji narzędzia te nieustannie wystawione są na działanie czynników niszczących, takich jak intensywne zmęczenie cieplne, cyklicznie zmienne obciążenia mechaniczne oraz intensywne tarcie przy dużych naciskach. Szczególnie na działanie tych czynników narażona jest warstwa wierzchnia narzędzia, dlatego też większość występujących mechanizmów niszczących dotyczy tego obszaru narzędzia, wobec czego, modyfikowanie właściwości warstwy wierzchniej narzędzi kuźniczych jest najbardziej efektywnym sposobem poprawy ich trwałości.

Od lat podejmowane są działania mające na celu poprawę trwałości narzędzi kuźniczych poprzez modyfikację ich warstwy wierzchniej. Jedną z najstarszych metod stosowanych w tym celu jest obróbka cieplno-chemiczna jaką jest azotowanie. Podejmowane są również inne próby modyfikacji warstwy wierzchniej narzędzi, poprzez między innymi: techniki mechaniczne polegające na: nagniataniu, kulowaniu, krążkowaniu, techniki spawalnicze, takie jak napawanie oraz najnowsze metody, do których należy zaliczyć techniki wiązkowe z zastosowaniem obróbki laserowej i techniki hybrydowe polegające na zastosowaniu dwóch lub więcej technik inżynierii powierzchni np. warstwy hybrydowe typu warstwa azotowana i powłoka PVD.

Azotowanie zwiększa odporność narzędzi na ścieranie, wytrzymałość zmęczeniową oraz podnosi odporność na korozję. Obserwacje wielu przemysłowych procesów kucia, w których zastosowano azotowane narzędzia wykazały, że zabieg ten pozwala nawet na kilkakrotne zwiększenie ich żywotności. Prowadzone badania wykazały, że aby warstwa azotowana skutecznie mogła poprawić trwałość narzędzia musi posiadać jednolitą i określoną budowę. Podczas azotowania najpierw tworzy się strefa dyfuzyjna ferrytu przesyconego azotem z wydzieleniami węglikoazotków i azotków $\gamma'$, a następnie w zależności od parametrów procesu na powierzchni powstaje ciągła strefa azotków i węglikoazotków $\varepsilon+\gamma'$, z rosnącą zawartością azotków $\varepsilon$. Okazuje się, że warstwy azotowane z powierzchniową strefą fazy $\varepsilon$, ogólnie cechują się gorszymi właściwościami użytkowymi głównie dlatego, że odznaczają się małą ciągliwością wykazując jednocześnie dużą odporność na ścieranie, w związku z czym są przydatne do pracy w warunkach, gdzie występują mniejsze obciążenia dynamiczne. Z kolei warstwa zbudowana z węglikoazotków i azotków $\gamma'$ przyczynia się do podwyższenia odporności na ścieranie i zatarcie oraz zwiększa odporność na korozję. Natomiast warstwy azotowane bez strefy związków charakteryzują się bardzo dobrą wytrzymałością zmęczeniową, mają mniejszą skłonność do pękania w wyniku zmęczenia cieplnego w związku z czym nadają się do pracy w warunkach dużych obciążeń dynamicznych. Technologia azotowania pomimo tego, że została dobrze opanowana i od wielu lat jest z powodzeniem stosowana, to coraz częściej nie jest wstanie spełnić oczekiwań związanych z trwałością narzędzi stosowanych w zaawansowanych, wysokowydajnych procesach kucia matrycowego na gorąco.

Kolejną stosowaną technologią poprawy trwałości, polegającej na modyfikacji warstwy wierzchniej jest napawanie, w szczególności napawanie prewencyjne. Polega ono na pokrywaniu narzędzi kuźniczych warstwą metalu techniką napawania z jednoczesnym przetopieniem podłoża, przy czym istotne jest dokładne stopienie metalurgiczne napawanej powłoki (napoiny) z materiałem podłoża, którego udział w metalu napoiny może dochodzić nawet do 60%. Zadaniem warstwy napawanej jest zapewnienie możliwie najlepszych własności eksploatacyjnych warstwy wierzchniej, działanie prewencyjne (uszlachetnianie) lub też w przypadku napawania regeneracyjnego przywrócenie tych właściwości poprzez odbudowę powierzchni. Obecnie napawanie realizowane w kuźniach odbywa się najczęściej, w zależności od zakładu, dostępnymi metodami spawalniczymi, m. in: GTA (elektrodą nietopliwą w osłonie gazowej), GMA (elektrodą topliwą w osłonie gazowej), SSA (drutem proszkowym samoosłonowym). Dotychczasowe obserwacje napawanych narzędzi kuźniczych wykazały, że można w ten sposób skutecznie zwiększyć ich trwałość.

Znany jest z opisu polskiego patentowego PL214225 sposób regeneracji wewnętrznych powierzchni cylindrycznych polegający na usunięciu wewnętrznej warstwy posiadającej wady lub skorodowanej, poprzez wytoczenie na określony wymiar powyżej nominalnego i nałożenie warstwy naprawczej. W rozwiązaniu nakłada się wewnętrzną warstwę naprawczą przez napawanie łukowe, do średnicy elementu rurowego mniejszej od nominalnej, a następnie wytacza się średnicę wewnętrzną na wymiar nominalny elementu rurowego. Napawanie wykonuje się co najmniej jedną warstwą, z użyciem drutu

spawalniczego, w osłonie gazowej z użyciem argonu i/lub tlenu, dokonując płynnej regulacji obrotu elementu rurowego i posuwu uchwytu spawalniczego.

Znany jest z polskiego opisu patentowego PL224007 sposób podniesienia trwałości lub regeneracji walca hutniczego który polega 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 o grubości do 3 mm, poprzez napawanie, korzystnie napawanie laserowe, co najmniej jednej warstwy materiału trudnościeralnego, 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 o grubości do 6 mm, poprzez napawanie, korzystnie napawanie laserowe, co najmniej jednej warstwy materiału trudnościeralnego w taki sposób, że grubość co najmniej części powłoki trudnościeralnej na co najmniej części powierzchni roboczej jest większa co najmniej o 20%, korzystnie o 50%–100%, od średniej grubości powłoki trudnościeralnej na powierzchni roboczej walca.

Znany jest z polskiego opisu patentowego PL206686 sposób tworzenia ochronnej powłoki na części maszyny, zwłaszcza na główce tłoka lub na grzybku zaworu wydechowego dwusuwowego silnika wysokoprężnego, o masie co najmniej 10 kg, przez napawanie na przyporządkowaną powierzchnię. Część maszyny, na którą nakłada się ochronną powłokę, chłodzi się podczas napawania, przy czym chłodzenie przeprowadza się tak, że w fazie początkowej napawania ciepło przenoszone na część maszyny jest większe niż ciepło odprowadzane przez chłodziwo, a po tym czasie początkowym ciepło doprowadzane przez napawanie w przybliżeniu odpowiada ciepłu odprowadzanemu przez chłodziwo.

Ponadto, z amerykańskiego zgłoszenia patentowego US 2014251501 znany jest sposób naddźwiękowego natryskiwania płomieniowego połączonego z azotowaniem plazmowym. Z angielskiego zgłoszenia patentowego GB 1126061 znane jest azotowanie elementów skrzyni biegów i silnika wcześniej spawanych w celu zwiększenia wytrzymałości zmęczeniowej. Rozwiązanie dotyczy elementów konstrukcyjnych, które po spawaniu są azotowane w celu ochrony przed korozją i ścieraniem.

Celem wynalazku jest nowej generacji hybrydowa warstwa wierzchnia narzędzia kuźniczego.

Sposób poprawy trwałości narzędzia kuźniczego poprzez modyfikację jego warstwy wierzchniej według wynalazku charakteryzuje się tym, iż na powierzchnię wierzchnią narzędzia kuźniczego poprzez napawanie łukowe drutem proszkowym samoosłonowym nakłada się, warstwowo, napoinę o grubości w zakresie od 2 do 5 mm, której twardość jest od 15 do 30% większa od twardości materiału z którego wykonane jest narzędzie kuźnicze, po nałożeniu napoiny narzędzie kuźnicze poddaje się wyżarzaniu odprężającemu w temperaturze od 50° do 100° poniżej temperatury wysokiego odpuszczania napoiny i materiału z którego wykonane jest narzędzie kuźnicze, następnie oczyszczoną i obrobioną mechanicznie do wykroju roboczego narzędzia kuźniczego, wierzchnią powierzchnię napoiny pokrywa się, wytwarzaną dowolną techniką azotowania, warstwą azotków o grubości efektywnej $G_{800}$ powyżej 50 mikrometrów, przy czym narzędzia kuźnicze do kucia na gorąco na prasach (matryce) pokrywa się dyfuzyjną warstwą azotków o grubości efektywnej $G_{800}$ co najmniej 150 mikrometrów z wydzieleniami azotków typu $\gamma'$, narzędzia kuźnicze do kucia na ciepło i wyciskania (stemple) pokrywa się dyfuzyjną warstwą azotków o grubości efektywnej $G_{800}$ w zakresie od 50 do 100 mikrometrów z wydzieleniami azotków typu $\varepsilon$, $\gamma'$, a narzędzia kuźnicze do wyciskania na ciepło i gorąco (matryce) pokrywa się dyfuzyjną warstwą azotków o grubości efektywnej $G_{800}$ co najmniej 100 mikrometrów z wydzieleniami azotków typu $\varepsilon$. Na narzędziu kuźniczym napoinę tworzy się z co najmniej dwóch warstw.

W rozwiązaniu według wynalazku napawanie drutem proszkowym jest skuteczną metodą regeneracji matryc kuźniczych i stanowi doskonałe podłoże dla procesu azotowania w celu tworzenia na narzędziach kuźniczych warstw hybrydowych nowej generacji łączących napawanie z azotowaniem. Azotowanie poprawia odporność narzędzi kuźniczych do pracy na gorąco, ponieważ opóźnia zużycie ścierne i efekt odpuszczania warstwy wierzchniej. Warstwa hybrydowa łącząca napawanie i azotowanie wykazuje najwyższy efekt podniesienia trwałości, podnosi odporność na pękanie zmęczeniowe przez ograniczenie rozwoju pęknięć oraz odporność na zużycie ścierne i deformację plastyczną dzięki zachowywaniu warstwy o podwyższonej twardości bezpośrednio przy powierzchni przez cały czas eksploatacji matrycy. Większa wytrzymałość zmęczeniowa powierzchni matrycy jest uzyskana dzięki połączeniu w warstwie wierzchniej naprężeń wewnętrznych ściskających pochodzących od procesu napawania z naprężeniami powstałymi podczas azotowania. Wyższa twardość powierzchni w stosunku do matryc azotowanych wynika z faktu wydzielania się korzystnej mikrostruktury azotków bezpośrednio przy powierzchni. Korzystny profil twardości w przekroju o większej twardości na poszczególnych głębokościach warstwy dyfuzyjnej. Większa odporność na ścieranie spowodowana jest zarówno odpornością

materiału napoiny, jak również samym azotowaniem. Dodatkowym, korzystnym skutkiem jest zwiększona odporność na działanie wysokich temperatur. Warstwy wierzchnie narzędzi (matryc) kuźniczych zwykle ulegają odpuszczeniu i tym samym tracą istotne właściwości mechaniczne takie jak wytrzymałość i twardość. Efekt odpuszczania zachodzi od powierzchni, zwykle do głębokości ok. 0,3 mm. Zastosowanie jednoczesnego azotowania i napawania podnosi odporność cieplną bezpośrednio przy powierzchni wierzchniej narzędzia, przy której narzędzia tylko napawane nie wykazywały jej w wystarczającym stopniu, a także na głębokości ok. 0,2 mm, gdzie ulegały odpuszczaniu narzędzia azotowane. Narzędzia z warstwami według wynalazku ulegają powolnemu odpuszczeniu, co wydłuża ich trwałość.

Rozwiązanie według wynalazku zostało objaśnione za pomocą rysunku, na którym fig. 1 przedstawia przekrój narzędzia z oznaczeniem napoin oraz warstwy dyfuzyjnej azotków.

Sposób poprawy trwałości narzędzia kuźniczego poprzez modyfikację jego warstwy wierzchniej według wynalazku polega na tym, iż na powierzchnię wierzchnią narzędzia kuźniczego wykonanego ze stali narzędziowej do pracy na gorąco 1.2343 poprzez napawanie łukowe drutem proszkowym samoosłonowym nakłada się napoinę złożoną z dwóch warstw, każda o grubości 1,6 mm. Korzystnie napoina może być utworzona z większej ilości warstw, na przykład 3 czy 4, a jej grubość wytwarza się w zakresie od 2 do 5 mm. Twardość oraz wytrzymałość napoiny dobiera się według normy PN-EN ISO 15614-7:2016-12 tak, aby twardość napoiny była od 15 do 30% większa od twardości materiału, z którego wykonane jest narzędzie kuźnicze. Przy stali narzędziowej do pracy na gorąco 1.2343 do napawania można wykorzystać spoiwo o nazwie handlowej Welding Alloys – Robotool 46 o składzie chemicznym C-0,20; Mn-0,90; Si-0,50; Cr-5,10; M0-3,80; Ti-0,25; Fe-Rem. Parametry prowadzenia procesu napawania przedstawia poniższa tabela nr 1.

Tabela 1

| Proces spawania | 138 (spawanie drutem proszkowym z rdzeniem metalicznym) |
|---|---|
| Wymiar spoiwa [mm] | 1,6 |
| Natężenie prądu [A] | Nr ściegu:<br>1-4 – 190<br>2-n – 285 |
| Napięcie łuku [V] | Nr ściegu:<br>1-4 – 22,6<br>2-n – 31,5 |
| Rodzaj biegunowości | DC+ |
| Prędkość napawania [cm/min] | 30 |
| Gaz osłonowy | ISO 14175 – M14 – ArCO – 5/2 |
| Prędkość przepływu gazu [l/min]] | 14-17 |
| Długość wolnego wylotu drutu [mm] | 12-18 |
| Kąt ustawienia uchwytu spawalniczego | Prostopadle do napawanej powierzchni |
| Temperatura podgrzania wstępnego [°C] | 350 |
| Temperatura międzyściegowa [°C] | 400 |

Po nałożeniu napoiny narzędzie kuźnicze poddaje się wyżarzaniu odprężającemu w temperaturze od 50°C do 100°C poniżej temperatury odpuszczania napoiny i materiału z którego wykonane jest narzędzie kuźnicze w czasie od 60 do 120 minut. W niniejszym przykładzie realizacji proces wyżarzania odprężającego prowadzi się w następujących warunkach: temperatura 500°C, czas 120 minut. Następnie powierzchnię wierzchnią napoiny oczyszcza się mechanicznie z pomocą szczotki metalowej i obrabia się na tokarce lub frezarce do uzyskania kształtu wykroju roboczego narzędzia kuźniczego. Kolejno oczyszczoną i obrobioną mechanicznie do wykroju roboczego narzędzia kuźniczego, wierzchnią powierzchnię napoiny, pokrywa się warstwą azotków o grubości efektywnej $G_{800}$ powyżej 50 mikrometrów, przy czym narzędzia kuźnicze do kucia na gorąco na prasach (matryce) pokrywa się dyfuzyjną warstwą azotków o grubości efektywnej $G_{800}$ co najmniej 150 mikrometrów z wydzieleniami azotków typu $\gamma'$, narzędzia kuźnicze do kucia na ciepło i wyciskania (stemple) pokrywa się dyfuzyjną warstwą azotków o grubości efektywnej $G_{800}$ w zakresie od 50

do 100 mikrometrów z wydzieleniami azotków typu $\alpha$, a narzędzia kuźnicze do wyciskania na ciepło i gorąco (matryce) pokrywa się dyfuzyjną warstwą azotków o grubości efektywnej $G_{800}$ co najmniej 100 mikrometrów z wydzieleniami azotków typu $\varepsilon$. Proces azotowania można prowadzić w dowolny sposób. Na matrycach do kucia na gorąco, stemplach lub matrycach do wyciskania można zastosować azotowanie gazowe o następujących parametrach podanych w tabeli nr 2.

T a b e l a 2. Przykładowe parametry procesów azotowania narzędzi do kucia i wyciskania.

| Rodzaj narzędzia kuźniczego | typ warstwy azotków/ grubość efektywna $g_{800}$ | parametry procesu azotowania | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | etap | temp. | czas | Potencjał $N_p$ |
| matryce i wkładki matrycowe | γ' (gamma prim)/ $g_{800} \geq 150\mu m$ | I | 490°C | 1h | 15 $atm^{-1/2}$ |
| | | II | 550°C | ≥ 14h | 3,0 $atm^{-1/2}$ |
| stemple do kucia na ciepło i wyciskania | α (alfa)/ $g_{800}$ = 50-100μm | I | 490°C | 0,5h | 5 $atm^{-1/2}$ |
| | | II | 550°C | ≈10h | 0,25 $atm^{-1/2}$ |
| matryce do wyciskania | ε (epsilon)/ $g_{800} \geq 100\mu m$ | I | 490°C | 1h | 15 $atm^{-1/2}$ |
| | | II | 550°C | ≥10h | 3,0 $atm^{-1/2}$ |

W pozostałych przypadkach należy sterować reakcją dysocjacji amoniaku i czasem azotowania, aby uzyskać warstwy zgodnie z zaleceniem. Na fig. 1 przedstawiono warstwy narzędzia w przekroju, z oznaczeniem numerycznym napoin, gdzie numery od 1 do 5 oznaczają kolejne etapy nakładania napoin – spawania, oraz warstwę dyfuzyjną azotków.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób poprawy trwałości narzędzia kuźniczego poprzez modyfikację jego warstwy wierzchniej, w którym narzędzie kuźnicze poddaje się procesowi azotowania **znamienny tym**, że na powierzchnię wierzchnią narzędzia kuźniczego poprzez napawanie łukowe drutem proszkowym samoosłonowym nakłada się, warstwowo, napoinę o grubości w zakresie od 2 do 5 mm której twardość jest od 15 do 30% większa od twardości materiału z którego wykonane jest narzędzie kuźnicze, po nałożeniu napoiny narzędzie kuźnicze poddaje się wyżarzaniu odprężającemu w temperaturze od 50°C do 100°C poniżej temperatury odpuszczania napoiny i materiału z którego wykonane jest narzędzie kuźnicze, następnie wierzchnią powierzchnię napoiny oczyszcza się oraz obrabia mechanicznie do wykroju roboczego narzędzia kuźniczego, po czym poprzez azotowanie wytwarza się na niej dyfuzyjną warstwę azotków o grubości efektywnej $G_{800}$ powyżej 50 mikrometrów.
2. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że uprzednio napawane narzędzia kuźnicze do kucia na gorąco na prasach poddaje się azotowaniu w celu uzyskania dyfuzyjnej warstwy azotków o grubości efektywnej $G_{800}$ co najmniej 150 mikrometrów z wydzieleniami azotków typu $\gamma'$.
3. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że uprzednio napawane narzędzia kuźnicze (stempel) do kucia na ciepło i wyciskania poddaje się azotowaniu w celu uzyskania dyfuzyjnej warstwy azotków o grubości efektywnej $G_{800}$ w zakresie od 50 do 100 mikrometrów z wydzieleniami azotków typu $\alpha$.
4. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że uprzednio napawane narzędzia kuźnicze do wyciskania na ciepło lub gorąco poddaje się azotowaniu w celu uzyskania dyfuzyjnej warstwy azotków o grubości efektywnej $G_{800}$ co najmniej 100 mikrometrów z wydzieleniami azotków typu $\varepsilon$.
5. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że na narzędziu kuźniczym napoinę tworzy się z co najmniej dwóch warstw.

## Rysunek

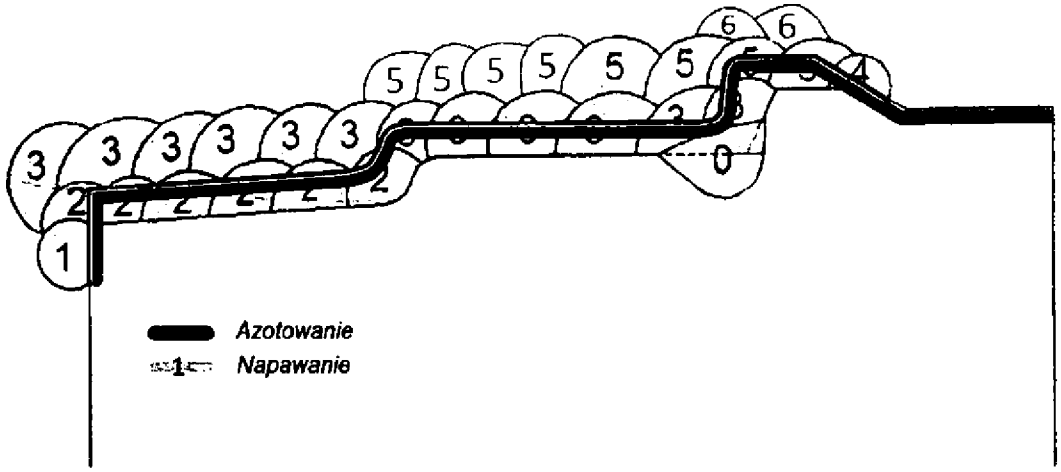



*Fig. 1*

Departament Wydawnictw UPRP
Cena 2,46 zł (w tym 23% VAT)