

Marek Binienda ¹⁾

URZĄDZENIE DO AZOTOWANIA NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH O MAŁYCH PRZEKROJACH W PLAZMIE WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

Streszczenie: Metody obróbki cieplno chemicznej narzędzi skrawających i części maszyn o małych przekrojach nie są znane. Uzyskanie twardej warstwy wierzchniej z zachowaniem ostrych krawędzi tnących jest niemożliwe do zrealizowania za pomocą żadnej ze znanych metod. Badania wstępne dotyczące azotowania w plazmie w.cz. pozwoliły na uzyskanie twardych warstw w bardzo krótkim czasie. Azotowanie drobnych narzędzi skrawających i części maszyn o małych przekrojach w plazmie w.cz. wydaje się wielce atrakcyjnym i pożytecznym dla wykorzystania w praktyce produkcyjnej. Niniejszy artykuł przedstawia innowacyjne urządzenie na bazie generatora do azotowania w plazmie w.cz. o pierścieniowym charakterze wyładowania. Wysoka koncentracja energii tego wyładowania pozwala na uzyskanie w bardzo krótkim czasie trwałej warstwy azotowanej o grubości 150 μ m i twardości 1100HV bez fazy γ' . Stanowisko do azotowania pozwala, w sposób powtarzalny, na uzyskanie wielokrotnego wzrostu trwałości narzędzi skrawających poprzez wytworzenie umocnionej warstwy wierzchniej przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej udarności i niskiej twardości rdzenia.

Słowa kluczowe: azotowanie, plazma, wyładowanie pierścieniowe.

PRZEGLĄD METOD AZOTOWANIA POD KĄTEM PRZYDATNOŚCI DO UMACNIANIA POWIERZCHNI NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH O MAŁYCH ROZMIARACH

W znanym sposobie azotowania gazowego [13] obrabiane elementy nagrzewane są w atmosferze częściowo zdysocjowanego amoniaku lub w mieszaninie amoniaku, azotu i argonu przy nadciśnieniu w stosunku do ciśnienia atmosferycznego. Wadą metody jest to, że warstwy wierzchnie otrzymane w procesie charakteryzują się kruchością.

Inny sposób to azotowanie przy ciśnieniu od 3÷10hPa, w atmosferze zjonizowanej mieszaniny gazów azotu, argonu i wodoru. Jonizacja mieszaniny następuje po przyłożeniu stałego napięcia 700÷1500V pomiędzy obrabiane części i elementy stanowiące katodę, a komorę reaktora (anoda). Metodę tę cechuje rozpylenie warstwy azotowej obrabianych elementów, a szczególnie ich ostrych krawędzi, co uniemożliwia jej zastosowanie do umacniania narzędzi skrawających.

W innej metodzie [10], obrabiany element nagrzewa się indukcyjnie lub płomieniowo. Przedmiot obrabiany jest anodą, a wzbudnik lub palnik doprowadzają-

¹ Instytut Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka.

cy podgrzany gaz - katodą. Wskutek podwyższonej temperatury i wysokiej różnicy potencjałów następuje lawinowa jonizacja azotu. Sposób ten nie nadaje się do azotowania przedmiotów o skomplikowanych kształtach ze względu na stosowane w nim podgrzewanie i wysokie napięcie $\sim 100\text{kV}$.

Azotowanie przeprowadzać można także przy ciśnieniu atmosferycznym. Jonizacja azotu następuje poprzez doprowadzenie sygnału elektrycznego o częstotliwości $100\div 480\text{MHz}$, o amplitudzie $10\div 300\text{kV}$. Niedogodnością tego sposobu jest brak możliwości uzyskania warstw azotowanych bez faz γ' (Fe_4N) i ϵ (Fe_2N) jak również tworzenie się nadtopień na powierzchniach azotowanych.

Kolejnym sposobem ulepszenia cieplno-chemicznego jest azotowanie w plazmie w.cz. w reaktorze o ścianach przepuszczalnych dla pola elektromagnetycznego [6]. Proces przebiega w atmosferze azotu lub mieszaniny azotu z argonem, wodorem i amoniakiem. Jonizacja gazu następuje w polu elektromagnetycznym cewki przy ciśnieniu amoniaku $0,01\div 800\text{hPa}$, przy wyładowaniu o charakterze liniowym bądź pierścieniowym. Obrabiane elementy o większej masie mogą być wstępnie podgrzewane indukcyjnie.

Konkludując, w przypadku narzędzi skrawających o małych rozmiarach metoda azotowania powinna spełniać następujące warunki:

- nie powodować odkształceń obrabianych narzędzi,
- nie nadtopić powierzchni,
- nie rozpylać krawędzi,
- wyeliminować obróbkę wykańczającą powierzchni,
- zapewnić możliwości uzyskania utwardzonej warstwy wierzchniej również w trudno dostępnych miejscach.

Warunkiem koniecznym przeprowadzenia procesu obróbki cieplno-chemicznej jest obecność gazu reakcyjnego. Rozpuszczalność azotu cząsteczkowego (N_2) w stopach żelaza jest pomijalnie mała. Niezbędne jest zatem uzyskanie wyoce reakcyjnego azotu w postaci jedno, dwu lub trzykrotnie zjonizowanego.

PLAZMA

Plazma jest stanem materii charakteryzującym się wysokim stopniem zjonizowania gazu. Stosuje się podział na plazmę wysokotemperaturową i niskotemperaturową w zależności od stanu energetycznego cząstek występujących w plazmie. W tym celu wprowadzono energetyczną skalę temperatur [14]. Dla cząsteczki gazu dwuwymiarowego prawdziwe jest równanie:

$$E = k \cdot T \quad (1)$$

gdzie: E – energia, k – stała Boltzmanna, T – temperatura [K].

Stąd dla $E=1\text{eV}$ zachodzi zależność:

$$T = \frac{E}{k} = \frac{1eV}{k} = \frac{1,602 \cdot 10^{-19} J}{1,381 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}} \approx 11600K \quad (2)$$

W energetycznej skali temperatur 1eV odpowiada temperatura 11 600K. W oparciu o tę skalę, wysokotemperaturową nazywana jest plazma o energii cząstek osiagającej setki elektronowoltów, zaś niskotemperaturową o energii cząstek mniejszej od kilku elektronowoltów.

Stopień jonizacji jest zależny od rozkładu temperatur w plazmie, który waha się od około 10000K w środku wyładowania do około 5000K na obrzeżach. W tych warunkach większość pierwiastków jest częściowo lub całkowicie zjonizowana.

Tabela 1. Stany skupienia azotu

Stan stały	Stan ciekły	Stan gazowy	Plazma
Azot	Azot (LN ₂)	Azot (N ₂)	N ₂ → N ⁺ + N ⁺ + 2e ⁻
T < -210 °C	-210 °C < T < -195,8 °C	T > -195,8 °C	T > 5 000 °C
Molekuły uwięzione w sieci krystalicznej	Cząsteczki uwolnione, w ruchu	Cząsteczki uwolnione, w ruchu, w większym obszarze	Mieszanina cząsteczek, atomów, swobodnych jonów dodatnich i elektronów w dużym obszarze

W przypadku azotu, w obszarze wyładowania plazmowego występuje mieszanina atomów azotu, swobodnych jonów dodatnich i elektronów. Znajdują się one w stanie wzbudzonym oraz rekombinują, pozbywając się energii w postaci promieniowania o określonej długości fali, charakterystycznej dla danego pierwiastka. Stany skupienia azotu przedstawia tabela 1.

Idea azotowania stali w plazmie wysokiej częstotliwości o pierścieniowym charakterze wyładowania jednocześnie spełnia dwa warunki: jonizację azotu cząsteczkowego i wyeliminowanie niekorzystnych zjawisk zachodzących podczas procesu azotowania wymienionych w poprzednim podrozdziale.

WYBÓR METODY WYTWARZANIA PLAZMY

Istnieje wiele sposobów wytwarzania plazmy niskotemperaturowej. Elektryczne generatory plazmy (plazmotrony) służą do zamiany energii pola elektrycznego w energię plazmy. Podział plazmotronów ze względu na charakter wyładowania jest następujący:

- plazmotrony z wyładowaniem łukowym,
- plazmotrony elektrodowe wysokiej częstotliwości,
- plazmotrony bezelektrodowe wysokiej częstotliwości:
 - pojemnościowe,
 - indukcyjne.

W indukcyjnym plazmotronie w.cz. gaz roboczy przepływa przez rurę kwarcową, która otoczona jest cewką indukcyjną (wzbudnik). Plazma wytwarzana jest zmiennym polem magnetycznym, które indukuje w gazie wirowe pole elektryczne (prądy Foucaulta). Prądy te tworzą wiry obejmujące linie sił pola magnetycznego, zgodnie z równaniem Maxwella:

$$\operatorname{rot} j = -\sigma \frac{\delta B}{\delta t} \quad (3)$$

gdzie:

j – gęstość prądu wirowego, B – indukcja pola magnetycznego, σ - przewodność elektryczna.

Przepływ prądów wirowych zgodnie z prawem Joule'a-Lenza prowadzi do wytwarzania dużej ilości ciepła.

$$Q = \frac{I^2}{\sigma} \cdot t \quad (4)$$

gdzie:

Q – ciepło na oporze rzeczywistym $R = \frac{1}{\sigma}$, I – natężenie skuteczne prądu, t – czas przepływu prądu

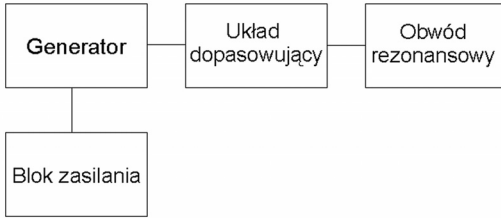
W konsekwencji następuje jonizacja gazu wewnątrz rury kwarcowej. Powstała plazma zamknięta jest w polu cewki, która dostarcza energii elektrycznej do podtrzymania plazmy w analogiczny sposób jak przy nagrzewaniu indukcyjnym. Tak więc generator wysokiej częstotliwości stanowi fundamentalną część stanowiska do azotowania w plazmie wysokiej częstotliwości.

GENERATOR WIELKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

Podstawowym parametrem generatora w.cz. jest częstotliwość pracy. Z uwagi na dużą moc generatora używanego w plazmotronie istnieje konieczność ekranowania w celu ograniczenia emisji zakłóceń. Mimo to generator powinien pracować z częstotliwością z zakresu pasm nie objętych licencjonowaniem ISM (ang. Industrial, Scientific, Medical). Warunki te spełnia generator pracujący w częstotliwościach 27,12MHz lub 40,68MHz. Schemat blokowy generatora mocy przedstawia rysunek 1.

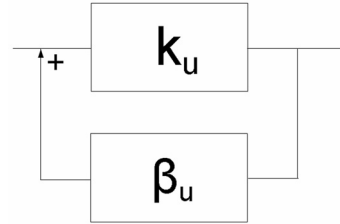
Generator mocy może być zbudowany z wykorzystaniem techniki półprzewodnikowej lub lampowej. Dostępne są elementy półprzewodnikowe mocy, które są w stanie pracować na wybranych częstotliwościach przy mocach dochodzących do 1kW. Są to dla elementów półprzewodnikowych parametry zbliżone do granicznych, a zatem cena ich jest wysoka. Dopuszczalna temperatura pracy tranzystorów jest do trzech razy niższa w stosunku do lamp zaś odporność na nieprzewidziane sytuacje jest w przypadku lamp dużo wyższa. Kolejnym parame-

trem przemawiającym na korzyść lampy jest liniowość charakterystyki. Przy mocach większych od 1kW wybór lampy mocy wydaje się być lepszym rozwiązaniem.



Rys. 1. Schemat blokowy zespołu generatora plazmotronu indukcyjnego

Fig.1. Block diagram of the assembly of the inductive plasmotron's generator



Rys. 2. Schemat blokowy generatora ze sprzężeniem zwrotnym

Fig. 2. Block diagram of the oscillator with positive feedback

Warunkiem wystąpienia generacji dla wzmacniacza z rysunku 2 o wzmocnieniu napięciowym k_u oraz obwodu sprzężenia zwrotnego o transmitancji β_u jest jednocześnie spełnienie dwóch warunków:

warunku amplitudy:

$$|k_u \cdot \beta_u| = 1 \quad (5)$$

oraz warunku zgodności fazy:

$$\phi_k + \phi_\beta = 2 \cdot n \cdot \pi \quad (6)$$

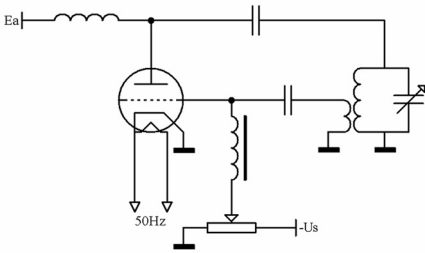
Generator lampowy

Generatory lampowe do plazmotronów indukcyjnych w.c.z. są najczęściej układami jednolampowymi, samowzbudnymi LC. Oparte są one na bazie klasycznych układów Meissnera, Hartleya i Colpitsa [15]. W urządzeniu przedstawionym na rysunku 3 generator w układzie Meissnera zbudowany jest na bazie triody mocy.

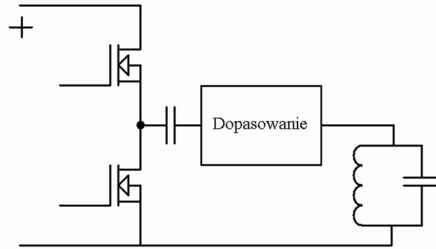
W obwodzie siatki lampy włączone jest ujemne napięcie blokujące siatkę w chwili załączenia napięcia anodowego. W tym stanie nie jest spełniony warunek amplitudy. Generator rozpocznie oscylację dopiero po odblokowaniu lampy. W urządzeniach bardziej złożonych stosuje się układy wielostopniowe. Pierwszym stopniem jest generator samowzbudny małej mocy ze stabilizacją częstotliwości. Kolejne stopnie stanowią wzmacniacz wstępny i wzmacniacz mocy. Wzmacniacze mocy budowane są przeważnie na bazie tetrod mocy, które dzięki dodatkowej siatce (ekranującej) umożliwiają uzyskanie większego wzmocnienia i wyższej częstotliwości pracy [15].

Lampy generacyjne o mocach powyżej 1kW wymagają chłodzenia wymuszonym przepływem powietrza lub wody. Najbardziej rozpowszechnione jest mniej skomplikowane chłodzenie powietrzem. Lampa umieszczana jest w kanale

powietrznym. Wymagania dotyczące przepływu powietrza i doboru wentylatora można wyznaczyć na podstawie danych katalogowych lampy. Dla ochrony lampy przed uszkodzeniem termicznym należy stosować układy podtrzymujące zasilanie wentylatora w przypadku zaniku napięcia w sieci.



Rys.3. Lampowy generator mocy w.cz.
Fig. 3. Tube RF power oscillator



Rys. 4. Wzmacniacz mocy w.cz. w układzie przeciwobnym
Fig. 4. Push-pull RF power amplifier

Włączanie generatora lampowego musi odbywać się w ściśle określonej kolejności. Jest ona następująca:

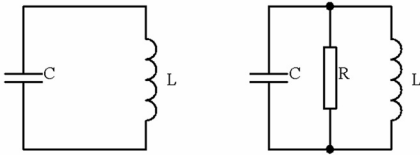
- włączenie sytemu chłodzenia,
 - włączenie żarzenia lampy generacyjnej,
 - Następnie po około 5 minutach:
 - włączenie napięcia blokującego w obwodzie siatki sterującej,
 - włączenie napięcia anodowego,
 - włączenie napięcia w obwodzie siatki ekranującej (tetroda).
- Wyłączenie generatora przebiega w odwrotnej kolejności.

Generator półprzewodnikowy

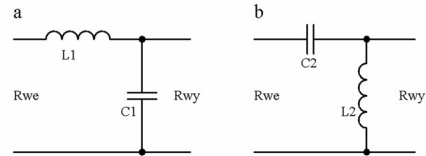
Wyprodukowanie nowej generacji tranzystorów MOSFET spowodowało pojawienie się opartych na nich konstrukcji bloków generatorów. Przykładem takich tranzystorów są pary komplementarne produkowane przez firmę Microsemi [18] o oznaczeniach ARF 446/447. Podzespoły te są przeznaczone do budowy wzmacniaczy selektywnych w.cz. pracujących w klasie C dla częstotliwości z zakresu ISM: 13,56MHz, 27,12MHz jak i 40,68MHz. Rysunek 4 przedstawia typowy układ przeciwobnego wzmacniacza mocy. Szeregowy kondensator odcina składową stałą prądu stanowiąc jednocześnie zwarcie dla składowej zmiennej. Układ dopasowujący zapewnia optymalny transfer mocy do obciążenia. Powinien być tak dobrany, aby stanowił jednocześnie blokadę dla wyższych harmonicznych.

Obwód rezonansowy

Idealny obwód rezonansowy składa się wyłącznie z kondensatora i cewki. Rzeczywiste elementy obwodu wprowadzają straty: cewka posiada niewielką rezystancję szeregową, a kondensator upływność, którą można przedstawić jako dużą rezystancję równoległą. Dodatkowe straty w obwodzie spowodowane są zjawiskiem naskórkowości występującym przy wysokich częstotliwościach. Jeżeli do wnętrza cewki wprowadzona zostanie próbka podlegająca obróbce cieplnochemicznej, to energia spożytkowana na nagrzewanie próbki również stanowi źródło strat w obwodzie. Wszystkie te straty tłumią rezonans. Na rysunku 5 są one reprezentowane przez równoległą rezystancję R.



Rys. 5. Obwód rezonansowy
Fig. 5. Resonant circuit



Rys. 6. Filtr typu L
Fig. 6. L-match network

W rezonansie prądy płynące przez cewkę i kondensator mają tę samą amplitudę lecz przeciwną fazę i znoszą się wzajemnie. Zatem, w stanie rezonansu, jedynym obciążeniem rejestrowanym na zaciskach źródła mocy wysokiej częstotliwości jest wypadkowa rezystancja strat obwodu.

Układ dopasowujący

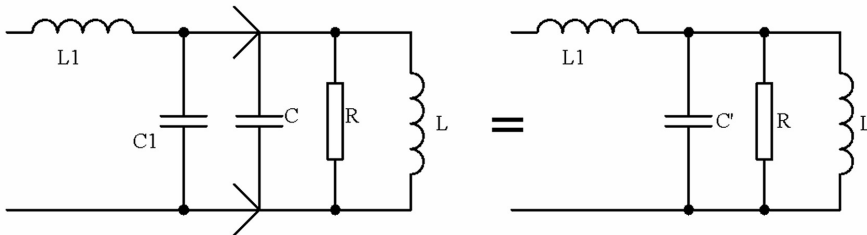
Układ dopasowujący ma za zadanie dopasowanie rezystancji obwodu wyjściowego źródła mocy do wysokiej rezystancji obwodu LC w stanie rezonansu. Największa moc jest przenoszona, gdy rezystancje te są równe. W przypadku różnych wartości rezystancji należy zastosować transformację. Do tego celu stosowane są elementy L i C w różnych konfiguracjach. Transformacja może być zrealizowana na wiele sposobów. Każdy z nich posiada wady i zalety. Dopasowanie poprzez:

- odczep cewki (autotransformator) - charakteryzuje się prostym doбором transformacji poprzez zmianę miejsca odczepu (zmiana stosunku zwojów), możliwością wykonania uzwojeń z ułamkową częścią zwojów; brak separacji galwanicznej
- uzwojenie sprzęgające, w tym transformatory w.cz. z rdzeniami ferrytowymi – charakteryzuje się łatwą zmianą transformacji przez zmianę liczby zwojów zarówno w uzwojeniu pierwotnym jak i wtórnym, odpornością na zakłócenia, możliwością zarówno symetrycznego jak i niesymetrycznego obciążania, separacją galwaniczną; kłopotliwa jest eksperymentalna zmiana transformacji,

- dzielniki pojemnościowe, realizujące podział pojemności w gałęzi z kondensatorem – charakteryzuje je łatwy dobór współczynnika transformacji; kłopotliwa jest eksperymentalna zmiana sprzężenia,
- filtry LC takie jak filtr typu L, π , T itp. – charakteryzują się prostą budową i łatwym doбором transformacji.

Filtr dopasowujący w generatorach mocy plazmotronów powinien charakteryzować się przede wszystkim możliwością zmian transformacji. Rezystancja obciążenia obwodu rezonansowego plazmotronu jest wyższa od rezystancji wyjściowej lampowego źródła sygnału mocy w.cz. i dużo wyższa w stosunku do oporności wyjściowej źródła tranzystorowego. Rezystancja ta jest wypadkową strat w obwodzie rezonansowym i w związku z tym jest zależna zarówno od wielkości wsadu przeznaczonego do obróbki cieplno-chemicznej jak i jego rodzaju. Zatem eksperymentalna zmiana wsadów wymusza konieczność zmiany transformacji. Filtr typu L charakteryzuje się prostą budową i łatwym doбором sprzężenia.

Wyróżnia się dwa typy filtrów typu L, przedstawione na rys. 6: z indukcyjnością w gałęzi poprzecznej dla $R_{wy} > R_{we}$ (rys. 6a) lub z pojemnością w gałęzi poprzecznej dla $R_{wy} < R_{we}$ (rys. 6b). Rysunek 7 przedstawia filtr typu L wraz z obwodem rezonansowym oraz schemat zastępczy, w którym dwie równoległe pojemności zastąpione są jedną, będącą ich sumą.



Rys. 7. Schemat zastępczy dopasowanego obwodu rezonansowego
Fig. 7. LCRL model of the work coil arrangement

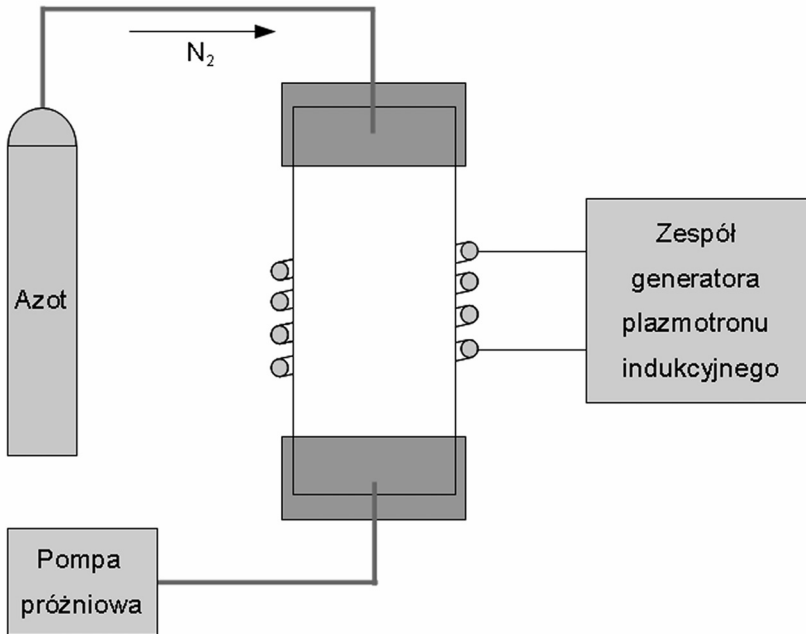
W konsekwencji otrzymuje się obwód rezonansowy LC²- z roboczą cewką wyładowczą zwaną również wzbudnikiem, przestrajającym kondensatorem C' oraz z rezystancją obciążenia R reprezentującą straty w obwodzie- z dopasowaniem rezystancji zrealizowanym za pomocą cewki L₁. Reasumując, szeregowo cewka (L₁) filtra typu L zapewnia:

- realizację dopasowania rezystancji w rezonansie,
- progresywny wzrost reakcji indukcyjnej $x_L = 2\pi fL$ stanowiącej barierę dla wyższych harmonicznych,
- zniwelowanie szkodliwych indukcyjności połączeń wyjścia generatora z obwodem rezonansowym, które stają się częścią cewki,

- łatwą modyfikację dopasowania poprzez wymianę cewki bądź zastosowanie wariometru.

STANOWISKO DO AZOTOWANIA NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH O MAŁYCH PRZEKROJACH W PLAZMIE WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

Plazmotron przedstawiony na rysunku 8 składa się z zespołu generatora w.cz., rury roboczej, pompy próżniowej, butli z gazem roboczym. Rura robocza wykonana ze szkła kwarcowego jest uszczelniona z obydwu końców.



Rys. 8. Schemat blokowy stanowiska do azotowania w plazmie w.cz. o pierścieniowym charakterze wyładowania

Fig. 8. Block diagram of the laboratory stand for nitriding in RF annular glow discharge plasma

Odpowiednie ciśnienie jest utrzymywane przy użyciu pompy próżniowej. Rura robocza znajduje się wewnątrz cewki (wzbudnika) wyjściowego obwodu rezonansowego generatora mocy. Wyładowanie pierścieniowe następuje wewnątrz komory. Kluczowe znaczenie ma dobór parametrów procesu takich jak ciśnienie, czas trwania procesu i częstotliwość pracy generatora.

Istotnym problemem jest odprowadzanie ciepła. Komora wyładowcza musi być wykonana z izolatora odpornego na udary cieplne. Dlatego rury robocze budowane są ze szkła kwarcowego, które odznaczają się temperaturą topnienia wyż-

szą od 1500K. Słabe przewodnictwo cieplne utrudnia odprowadzanie ciepła i może spowodować przegrzanie i w konsekwencji zniszczenie rury. W takim przypadku stosuje się system chłodzenia rury - powietrzny lub wodny.

Gazem roboczym jest azot o wysokiej czystości 99,999%, w związku z tym nie ma potrzeby stosowania dodatkowych systemów oczyszczających.

PODSUMOWANIE

Azotowanie narzędzi skrawających w plazmie w.cz. o pierścieniowym charakterze wyładowania jest sposobem na szybkie i tanie uzyskanie umocnionej warstwy wierzchniej bez fazy γ' . Proces ten zapewnia wielokrotny wzrost trwałości narzędzi. W konsekwencji wzrasta ich żywotność co jest powodem znacznych oszczędności.

Przedstawione urządzenie do azotowania pozwoli poznać wpływ określonych parametrów, takich jak ciśnienie, częstotliwość pracy generatora oraz czas ekspozycji azotowanych próbek na własności warstwy azotowanej.

Szerokie wykorzystanie w przemyśle narzędzi skrawających o niewielkich rozmiarach wykonanych ze stali i wysokie wymagania w zakresie ich jakości wymuszają opracowywanie nowych technologii podwyższenia ich trwałości. Uzasadnia to celowość prowadzenia badań na stanowisku do azotowania w celu opracowania optymalnych warunków obróbki cieplno chemicznej w plazmie o pierścieniowym charakterze wyładowania z wykorzystaniem innowacyjnego zespołu urządzeń.

PIŚMIENNICTWO

1. Haś Z.: Pat. Nr 126128, Pat. Nr. 127-132.
2. Haś Z.: Pat. nr: P191906.
3. Haś Z.: Pat. nr: P178378.
4. Haś Z.: Pat. Nr nr: P185738.
5. Haś Z., Kula P.: Nitrovac'79 nowa technologia obróbki cieplno-chemicznej elementów maszyn i narzędzi. Inżynieria Materiałowa Nr 5 1983.
6. Haś Z., Piotrowski B.: Pat. Nr 192988.
7. Larisch B., Brusky U., Spies H. J.: Plasma nitriding of stainless steels at low temperatures. Surface and Coatings Technology, Volume: 116-119, September, 1999, pp. 205-211.
8. Michler T., Grischke M., Bewilogua K., Dimigen H.: Properties of duplex coatings prepared by plasma nitriding and PVD Ti-C:H deposition on X20Cr13 ferritic stainless steel. Thin Solid Films, Volume: 322, Issue: 1-2, June 8, 1998, pp. 206-212.
9. Musil J., Vlcek J., Ruzicka M.: Recent progress in plasma nitriding. Vacuum, Volume: 59, Issue: 4, December, 2000, pp. 940-951.
10. Pelczyński T., Pat. nr: P87885: Sposób jonowego azotowania metali i ich stopów i urządzenia do jonowego azotowania metali i ich stopów.

11. Priest J.M., Baldwin M. J., Fewell M. P., Haydon S. C., Collins G. A., Short K.T., Tendys J.: Low pressure r.f. nitriding of austenitic stainless steel in an industrial-style heat-treatment furnace. *Thin Solid Films*, Volume: 345, Issue: 1, May 7, 1999, pp. 113-118.
12. Dobrzański L. A.: *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
13. Kula P.: *Inżynieria warstwy wierzchniej*, Wyd. Politechnik Łódzkiej, Łódź 2000.
14. Praca Zbiorowa: *Chemia plazmy niskotemperaturowej*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1983.
15. Zagajewski T.: *Układy elektroniki przemysłowej*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1978.
16. Nitriding materials, Nitrex Metal Inc., (www.nitrex.com).
17. Wilkinsons Heat Treatment, (www.wilkinsons.com).
18. Application notes (www.microsemi.com).

DEVICE FOR NITRIDING THE CUTTING TOOLS WITH SMALL SECTIONS IN RF PLASMA

Summary

The method of the surface layer hardness of cutting tools as well as the small parts of machines is -up to now- unknown. The obtainment high hardness of the surface layer with sharp cutting edges is impossible to realizing in any other method. The preliminary research of nitriding in plasma RF permitted to obtain hard surface layers in very short time. The nitriding of the cutting tools and the small parts of machines in RF plasma seems to be attractive and useful for many practical applications of production process. The introduced innovative device works on base of generator to nitriding in RF annular glow discharge. The high concentration of energy of RF annular glow discharge let to obtain durable layer with thickness of 150 μm and hardness of 1100HV without γ' phase in very short time. Designed as well as created the original device to process permits to obtain - in repeatable manner- the multiple growth of durability of cutting tools with preservation of high impact strength and low hardness of the core.

Keywords: nitriding, plasma, annular discharge.