

TECHNIKI WIĄZKOWE OTRZYMYWANIA POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH

PAWEŁ URBAŃCZYK

Streszczenie: W artykule przedstawiono techniki wiązkowe (elektronowe, laserowe, implantacyjne) otrzymywania powłok przeciwzużyciowych. Omówiono ich parametry, zastosowanie a także technologiczne i przemysłowe wykorzystanie. Przedstawiono zalety oraz wady technik wiązkowych.

Słowa kluczowe: technika elektronowa, technika laserowa, technika implantacyjna, wiązka, nagrzew.

1. Wstęp.

Warstwy powierzchniowe o określonej strukturze i właściwościach wytwarza się z reguły na przedmiotach w procesie technologicznym przed rozpoczęciem ich eksploatacji. Różnorodność możliwości technologicznych prowadzących do nadania wyrobom założonych cech eksploatacyjnych jest bardzo duża.

Techniki wiązkowe należą do technik nowej generacji otrzymywania powłok przeciwzużyciowych. Stwarzają one duże możliwości techniczne i technologiczne sterowania parametrami procesów wytwarzania warstw powierzchniowych. Stopniowo są wprowadzane do praktyki przemysłowej rokując duże perspektywy rozwojowe.

2. Techniki elektronowe.

Technologie elektronowe należą do technik skoncentrowanego nagrzewu. Do tego celu służą nagrzewnice elektronowe posiadające dwa źródła energii. Pierwszym z nich jest emiter elektronów (katoda), a drugim zespół przyspieszający i formujący wiązkę elektronów. Razem stanowią wyrzutnię elektronową będącą podstawowym elementem nagrzewnic elektronowych [1]. Schemat nagrzewnicy elektronowej przedstawiono na rysunku 1.

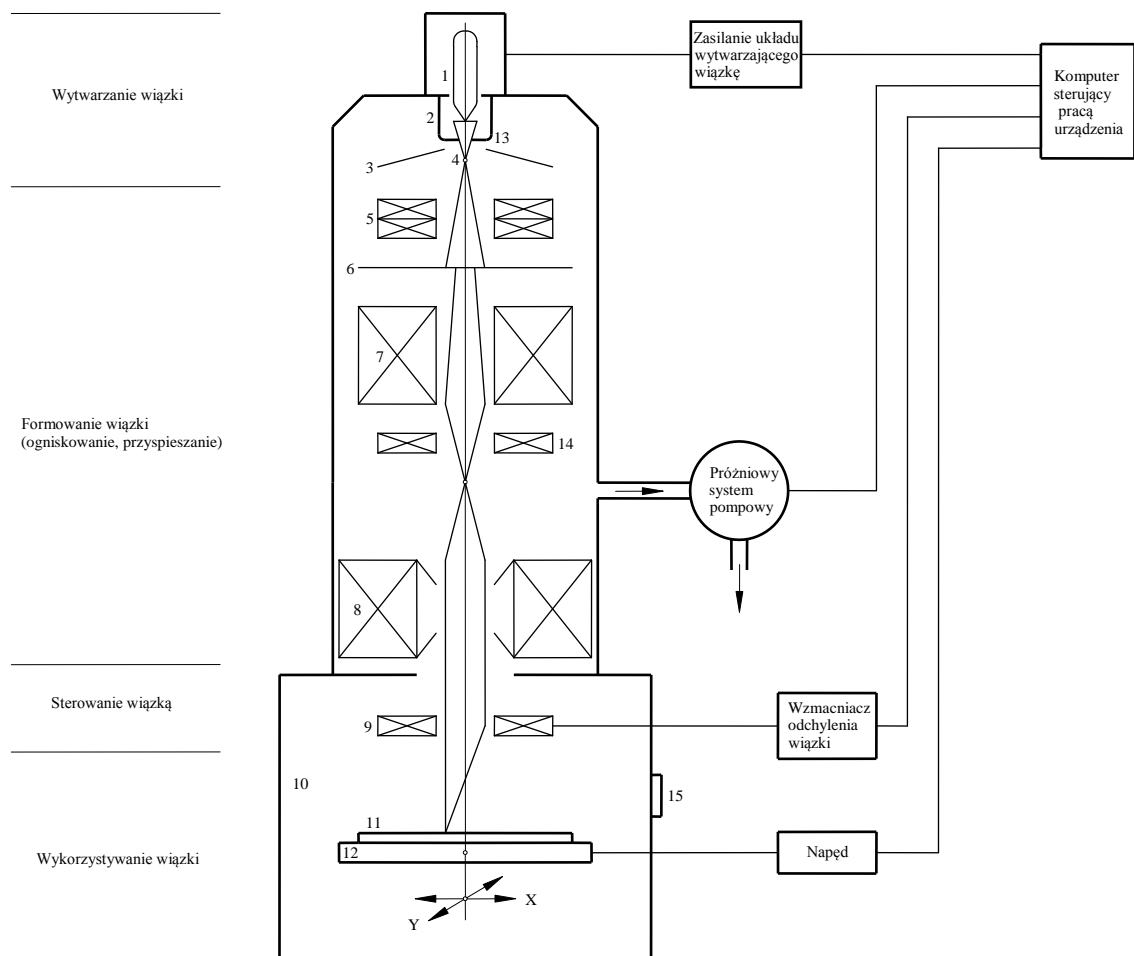
Ponieważ kierowana na materiał wiązka elektronów jest źródłem mocy kilkudziesięciu kW, skoncentrowanym na niewielkiej powierzchni (zwykle kilka mm^2), szybkość nagrzewu musi osiągać $10^3 \div 10^5$ K/s. Można więc w nadzwyczaj krótkim czasie nagrzać lub roztopić cienką warstwę powierzchniową materiału [1].

Do chłodzenia nie używa się żadnych środków chłodzących. Różnica temperatur między nagrzaną warstwą i materiałem położonym głębiej pozwala na tzw. samochłodzenie. Jeżeli masa (objętość) materiału nie nagrzanego jest przynajmniej 5 - krotnie większa od masy materiału nagrzanego, to szybkość chłodzenia może być porównywalna z szybkością nagrzewania. Czas nagrzewu może zawierać się w zakresie od mikrosekundy do sekundy [1].

Procesom superszybkiego nagrzewu i oziębiania towarzyszą zjawiska strukturalne pociągające za sobą modyfikację właściwości warstwy wierzchniej na skalę niemożliwą, a przynajmniej trudną do uzyskania innymi metodami [1].

Technologia nagrzewu elektronowego może być stosowana w następujących procesach: wyżarzania, hartowania bez przetopienia lub z przetopieniem, stopowania, natapiania, przetapiania uszczelniającego, szkliwienia itp. Z wykorzystaniem tej technologii można wytwarzać warstwy kompozytowe, wprowadzać pierwiastki stopowe, rafinować warstwę wierzchnią metali i stopów.

Na szczególną uwagę zasługuje konieczność demagnetyzacji części przed obróbką elektronową. Po technologiach bezprzetopieniowych w zasadzie nie jest wymagana dalsza obróbka wykańczająca, po technologiach przetopieniowych zwykle stosuje się mechaniczną obróbkę wykańczającą w celu nadania obrabianym powierzchniom odpowiedniej gładkości [2].



Rys.1. Schemat ideowy nagrzewnicy elektronicznej: 1 – termokatoda, 2 - elektroda sterująca, 3 – anoda, 4 – Źrenica elektronoptyczna, 5 – system justujący – centrujący, 6 – przesłona aperturowa, 7 – soczewka dopasowująca, 8 – soczewka skupiająca, 9 – układ odchylający, 10 – komora robocza, 11 – przedmiot obrabiany, 12 – stół współrzędnościowy XY, 13 – wyrzutnia elektroniczna, 14 – stygmat, 15 - wziernik
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [2, 3]

Obróbce elektronicznej – impulsowej lub ciągłej – mogą podlegać części o różnej chropowatości i o różnym kształcie oraz różne fragmenty części. Chropowatość powierzchni obrabianych elektronicznie części nie powinna przekraczać 40 μm . Kształt części powinien być taki, aby obrabiana powierzchnia była możliwie prostopadła do wiązki elektronicznej [2]. Możliwe jest również

nagrzewanie elektronowe powierzchni nie prostopadłych do osi wiązki elektronowej pod warunkiem, iż odchylenie nie będzie przekraczało kilku – kilkunastu stopni [4].

Technologia hartowania elektronowego stosowana jest przy produkcji części dla przemysłu motoryzacyjnego, takich jak np.: wały korbowe, pierścienie tłokowe, wałki rozrządu, krzywki, popychacze, tuleje, przeguby kulowe, koła zębate a także krawędzie tnące matryc i narzędzi skrawających, ostrza pił, łopatki turbin itp.

Zaletą obróbek elektronowych jest [2]:

- możliwość obrabiania powierzchni nieobrabilnych w sposób konwencjonalny;
- czystość obróbki;
- wyeliminowanie odkształceń i zmian wymiarowych wsadu;
- możliwość precyzyjnego komputerowego sterowania wiązką;
- dokładna kontrola parametrów nagrzewania;
- możliwość obrabiania fragmentów powierzchni obrobionego w zasadzie wsadu o skomplikowanych kształtach;
- duża powtarzalność wyników;
- łatwość automatyzacji;
- możliwość uzyskania dużej precyzji obróbki (tolerancje rzędu mikrometrów);
- duża wydajność;
- bardzo mała energochłonność (sprawność energetyczna dochodzi do 80÷90%);
- wyeliminowanie ośrodków chłodzących.

Do wad należą [2]:

- duży koszt nagrzewnic elektronowych;
- zastosowanie ograniczone do wybranych kształtów i niezbyt dużych wsadów zwykle nie przekraczających długości kilku metrów;
- konieczność stosowania próżni;
- ochrona przed promieniowaniem rentgenowskim (w przypadku wysokich napięć przyspieszających – około 150 kV).

Technologie elektronowe pod względem jakości obróbki są porównywalne z technologiami laserowymi.

3. Techniki laserowe.

Lasery technologiczne (obrabiarki laserowe) stosowane w inżynierii powierzchni generują głównie promieniowanie podczerwone i stosuje się je, na ogół, jako źródło szybkiego nagrzewu lokalnego (zogniskowanego) o dużej gęstości mocy, dochodzącej w impulsie do 10^{14} W/cm² [1]. Schemat nagrzewnicy laserowej przedstawiono na rysunku 2.

Nagrzew laserowy realizuje się podobnie jak nagrzewanie wiązką elektronową. Może on być ciągły lub impulsowy. Gęstość mocy doprowadzanej do powierzchni reguluje się przez sterowanie ogniskowaniem wiązki i czasem ekspozycji [1].

Techniki laserowe najczęściej stosuje się do hartowania, wyżarzania, odpuszczania, szklwienia, stopowania, natapiania, utwardzania detonacyjnego [1].

Techniki laserowe stwarzają duże możliwości wytwarzania w warstwie powierzchniowej nowych zestawów stopowych (stopowania). Można topić jednocześnie materiał bazowy i nowy (inny) stop lub pierwiastek stopowy, które w procesie ulegają wymieszaniu. Wprowadza się w ten sposób pierwiastki takie jak w technologii elektronowej, a również węgliki, borki, azotki, tworząc całkowicie nową jakość strukturalną i użytkową powierzchni [1].

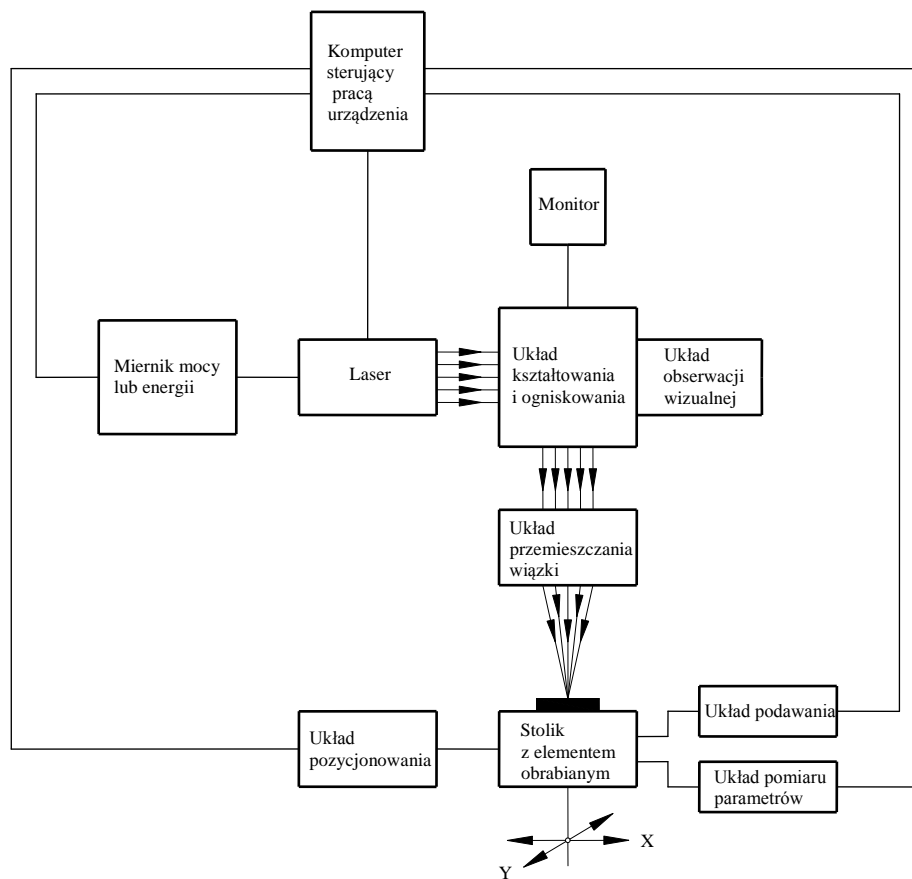
Zakres zastosowań nagrzewania laserowego jest podobny do nagrzewania elektronowego. Nagrzewanie wsadu odbywa się z reguły w powietrzu, co ułatwia operowanie wiązką promieniowania dzięki czemu można nią dotrzeć do trudno dostępnych fragmentów powierzchni wsadu.

Najczęściej wiązką laserową obrabia się długie powierzchnie płaskie lub o przekroju pryzmatycznym (np. prowadnice), powierzchnie obrotowo – symetryczne (powierzchnie trące łożysk ślizgowych, wałów korbowych, tłoków, cylindrów, pierścieni uszczelniających, zacisków, bieżnie łożysk), specjalne powierzchnie kształtowe (krzywki, tarcze, sprzęgła, gniazda zaworów) oraz powierzchnie tworzące geometrię ostrza (narzędzi wykrawających i skrawających – noży i pił) lub kształtujących geometrię narzędzia (np. do obróbki plastycznej) [2].

Wiązką laserową można nagrzewać materiały znajdujące się nie tylko w powietrzu, ale i w innych ośrodkach częściowo przepuszczalnych (w innych

gazach lub w cieczech) lub poprzez ośrodki częściowo przepuszczalne. Najlepsze efekty transmisji wiązki uzyskuje się w próżni [2].

Lasery pozwalają na dostarczanie do wybranego miejsca na wsadzie bardzo dużych ilości energii w bardzo krótkim czasie (nawet rzędu miliardowych sekundy). Temperatura obszarów przyległych do miejsca nagrzewania praktycznie nie ulega zmianie podczas nagrzewania (przekazywana jest przez przewodzenie obszarom przyległym dopiero po zakończeniu nagrzewania). Dzięki temu praktycznie eliminuje się utlenianie bądź spalanie materiałów palnych w czasie nagrzewania i stwarza możliwość nagrzewania materiałów przez warstwy absorpcyjne bez zanieczyszczania materiałami warstw [5, 6]. Dzięki zautomatyzowaniu i skomputeryzowaniu pracy procesu grzania, istnieje możliwość regulacji i zmiany parametrów grzania.



Rys. 2. Schemat ideowy nagrzewnicy laserowej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [2, 3]

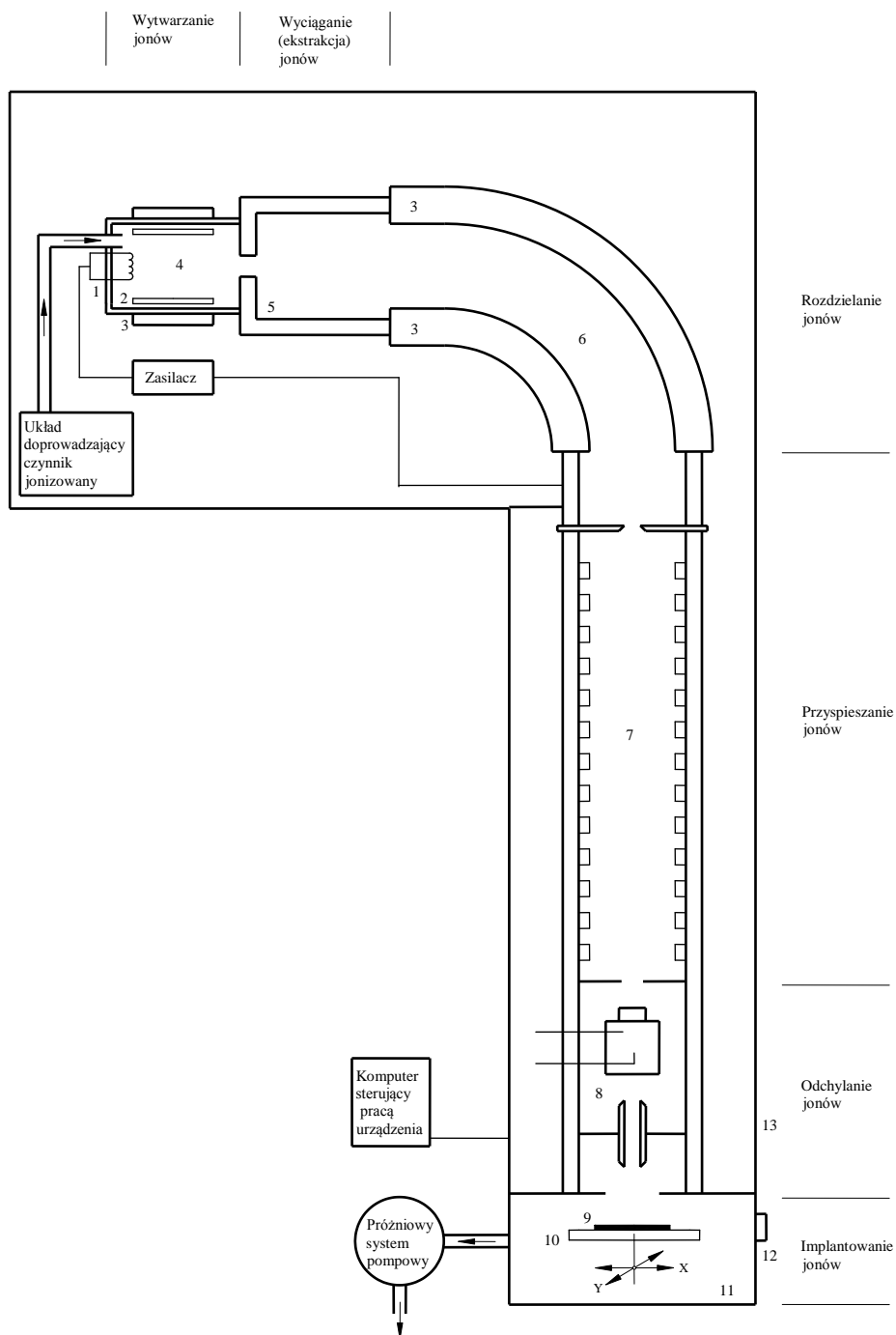
Bardzo dobre efekty technologiczne uzyskuje się kojarząc obróbkę laserową z innymi technikami inżynierii powierzchni, np. z obróbką cieplną, ciepło – chemiczną, z natryskiwaniem cieplnym, z nanoszeniem elektroiskrowym lub detonacyjnym, z metodami wytwarzania cienkich warstw CVD i PVD.

Zalety laserowej obróbki cieplnej są podobne do elektronowej, rozszerzone jednak o wyeliminowanie szkodliwego promieniowania rentgenowskiego, próżni koniecznej dla obróbki elektronowej oraz konieczności demagnetyzacji powierzchni. Wady są podobne jak w przypadku obróbki elektronowej, ale dochodzą do nich: dodatkowe warunki BHP (transmisja wiązki laserowej w specjalnych światłowodach), konieczność zwiększania absorpcji nagrzewanej powierzchni, krótki czas eksploatacji zwierciadeł, skomplikowana budowa nagrzewnic laserowych i ich duży koszt [7]. Zalety obróbek laserowych przewyższają wady. W wyniku obróbek laserowych trwałość eksploatacyjna obrobionych elementów wzrasta o kilkadziesiąt procent lub kilkakrotnie [2].

4. Techniki implantacyjne (implantacja jonów).

Obróbka implantacyjna należy do nowych i przyszłościowych technologii inżynierii powierzchni. Polega ona na wprowadzaniu (implantowaniu) do warstwy wierzchniej materiału, zjonizowanych atomów pierwiastków stopowych. Możliwe jest to dzięki dużej energii kinetycznej nabywanej w próżni ($6 \cdot 10^{-5} \text{Pa}$) w przyspieszającym i koncentrującym jony w wiązkę polu elektrycznym. Jony o energii od kilkunastu keV do kilkudziesięciu MeV wnikają w głąb materiału, tracą swoją energię na elektronach i jądrach atomowych i zostają osadzone w warstwie implantowanej [1]. Schemat implantatora jonów przedstawiono na rysunku 3.

Obróbka implantacyjna umożliwia otrzymanie wielu oryginalnych cech warstwy wierzchniej ze strukturami metastabilnymi, amorficznymi, przesyconych roztworów, umocnionymi dyspersyjnie itd. Dzięki temu można znacznie zwiększyć odporność na korozję, ścieranie, zmęczenie, podwyższyć właściwości mechaniczne, ukształtować specjalne właściwości fizyczne w warstwie powierzchniowej materiału [1].



Rys. 3. Schemat ideowy implantatora jonów: 1 – żarzona katoda, 2 – anoda, 3 – magnesy, 4 – źródło jonów, 5 - komora ekstrakcyjna, 6 – separator jonów, 7 – rura akceleracyjna, 8 – układ odchylający, 9 – implantowany materiał (wsad), 10 – stół do mocowania wsadu, 11 – komora robocza, 12 – wziernik, 13 – osłona ochronna (bezpieczeństwa)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [2, 8]

Przemysłowe zastosowanie znalazły dotychczas w inżynierii powierzchni metali metody implantacji jonami pierwotnymi, rzadsze – jonami wtórnymi. Obecnie obserwuje się początki szybkiego zastosowania przemysłowego metod mieszania jonowego [2].

Spośród metod implantacji jonów pierwotnych przemysłowe zastosowanie znalazła technologia implantacji azotem, zwłaszcza narzędzi skrawających i do obróbki plastycznej, rzadziej części maszyn, która pozwala na wzrost trwałości $2 \div 10$ razy [2]. Uzyskiwany wzrost trwałości zależy nie tylko od rodzaju implantowanego materiału i implantujących jonów, ale również w bardzo dużym stopniu od materiału współpracującego (para trąca) lub obrabianego implantowanym narzędziem [9].

Z metaloznawczego punktu widzenia ważne są zastosowania implantacji mające na celu uszlachetnienie warstwy wierzchniej, zwiększające walory eksploatacyjne narzędzi i części maszyn. Implantacja z reguły zwiększa twardość powierzchni i jej odporność na ścieranie i to niezależnie od tego czy stosuje się do implantacji jony domieszki, czy pierwiastka, z którego jest zbudowany implantowany obiekt [10].

Implantowaniu poddaje się stopy żelaza, metali nieżelaznych a nawet niektóre kompozyty. Jonami natomiast są jony boru, azotu, węgla, fosforu, tytanu, chromu, itru, kobaltu [1].

Coraz szersze praktyczne zastosowanie znajdują połączone technologie implantacji jonów z nanoszeniem powłok metodami CVD i PVD. Możliwość zastosowania mieszania jonowego przedstawia obecnie jedyną metodę dla uzyskania w stanie stałym stopów (o jednorodnej zawartości i przestrzennym rozkładzie składników w szerokich granicach ich koncentracji) układów, odznaczających się ograniczoną rozpuszczalnością w stanie stałym i ciekłym [11, 12].

Zaletami technologii implantacji jonów są [2]:

- możliwość implantowania dowolnym pierwiastkiem dowolnego materiału, w krótkim czasie (rzędu $10 \div 100$ s/cm² powierzchni) i dowolnej temperaturze (nie przekraczającej 600°C), znacznie jednak ograniczona w zastosowaniach praktycznych;
- możliwość wprowadzania kombinacji dodatków stopujących;

- możliwość uzyskania koncentracji dodatków stopujących przekraczających ich rozpuszczalność w stopowanym materiale;
- łatwość elektrycznego sterowania procesem, możliwość precyzyjnej kontroli koncentracji i rozkładu dodatków stopujących przez zaprogramowanie dawki i energii jonów, możliwość monitorowania;
- możliwość prowadzenia procesu w temperaturach niskich (zwykle poniżej 200°C) pozwalająca na jego stosowanie niezależnie od klasycznej obróbki cieplnej do części gotowych, bez zmian kształtu i praktycznie wymiarów wsadu;
- uniezależnienie się od zjawiska adhezji;
- niskie zużycie energii elektrycznej;
- czystość procesu (próżnia) i niezanieczyszczanie środowiska naturalnego;
- oszczędność materiału.

Do wad należy zaliczyć [2]:

- wiązkowość procesu (można implantować powierzchnie znajdujące się prostopadle do osi wiązki jonów);
- niewielką głębokość implantacji (maks. do 1 μm);
- niemożność implantowania wsadów o złożonych kształtach przestrzennych i ścian głębokich otworów;
- bardzo wysoki koszt implantatorów;
- wysoki koszt implantacji;
- konieczność bardzo dokładnego mycia i czyszczenia powierzchni wsadu przed implantacją;
- występujące różnice w technologicznych możliwościach implantacji;
- ochrona przed promieniowaniem rentgenowskim.

4. Podsumowanie.

Techniki wiązkowe otrzymywania powłok przeciwzużyciowych należą do technik nowej generacji. Znajdują bardzo szerokie zastosowanie w inżynierii powierzchni do wytwarzania warstw wierzchnich i powłok technicznych. Stwarzają możliwość wytwarzania w warstwie powierzchniowej nowych zestawów powłokowych, tworząc całkowicie nową jakość strukturalną i użytkową powierzchni. Zastosowanie nowoczesnych technik wytwarzania powłok pozwala na modyfikację właściwości warstwy wierzchniej na skalę niemożliwą, a przynajmniej trudną do uzyskania innymi metodami przy jednoczesnym wzroście trwałości eksploatacyjnej produkowanych części maszyn.

BEAM TECHNOLOGIES TO RECEIVE WEAR RESISTANT COATINGS

Abstract: In the paper is presented beam technologies (electron, laser, ion implantation) to receive wear resistant coatings. Parameters, technological and industrial applications are presented. Advantages and disadvantages of the beam technologies are also discussed.

Bibliografia

- [1] Wojtkun F., Sołncew J.: Materiały specjalnego przeznaczenia. Monografie nr 36. Radom 1999.
- [2] Burakowski T., Wierzchoń T.: Inżynieria powierzchni metali – podstawy, urządzenia, technologie. WNT, Warszawa 1995.
- [3] Młynarczak A., Jakubowski J.: Obróbka powierzchniowa i powłoki ochronne. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998.
- [4] Zenker R.: Electron beam surface modification – state of art. Materials Science Forum, nr 102 – 104, 1992, s. 459 - 476.
- [5] Domański R.: Promieniowanie laserowe – oddziaływanie na ciała stałe. WNT, Warszawa 1990.

- [6] Dubik A.: Zastosowanie laserów. WNT, Warszawa 1991.
- [7] Burakowski T.: Lasery i ich zastosowanie w inżynierii powierzchni. *Mechanik*, nr 5 – 6, 1992, s. 197 – 204.
- [8] Przybyłowicz K.: *Metaloznawstwo*. WNT, Warszawa 1996.
- [9] Korycki J.: Ocena właściwości trybologicznych warstwy implantowanej. *Prace Instytutu Lotnictwa*, nr 121 – 122, 1990, s. 110 – 118.
- [10] Przybyłowicz K.: *Metaloznawstwo*. WNT, Warszawa 1996.
- [11] Kaczmarek J.: Badania własności użytkowych implantowanych jonowo narzędzi. *Mechanik*, nr 11 - 12, 1990, s. 385 – 386.
- [12] Podgórski A., Jagielski J., Gawlik G.: Udoskonalenie metody implantacji jonów w celu uzyskania optymalnych własności technicznej warstwy wierzchniej. *Mechanik*, nr 11 – 12, 1990, s. 393 – 396.