

# Stopowanie elektroiskrowe jako metoda poprawy jakości łożysk ślizgowych

## Electroerosive alloying process for bushings quality improvement

NATALIA B. TARELNYK  
KRZYSZTOF ANTOSZEWSKI  
ALEKSANDR DZIUBA  
ANTON KONOPLIANCHENKO \*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.5-6.204

Przedstawiono wyniki analizy technologii nanoszenia powłok przeciwnośnych na elementy łożysk ślizgowych. Zaproponowano kilka metod poprawy parametrów jakościowych łożyska z wykorzystaniem stopowania elektroiskrowego.

**SŁOWA KLUCZOWE:** stopowanie elektroiskrowe, powłoki przeciwnośne, łożyska ślizgowe

*Presented are the results of investigation of the process of application of antifriction layer on bushing working surface. Several suggestions on how to improve bushing quality parameters by means of the electroerosive alloying method are offered*

**KEYWORDS:** electroerosive alloying, antifriction coating, bushings

Zagadnienie będące przedmiotem artykułu dotyczy zwiększenia trwałości maszyn, która jest zależna m.in. od odporności na zużywanie i niezawodności węzłów tarcia. Współczesne szybkoobrotowe maszyny, takie jak: turbosprężarki, multiplikatory, pompy czy też maszyny chłodnicze, są wyposażane w łożyska ślizgowe. Szacuje się, że ok. 32% agregatów w systemach transportu gazu ma zamontowane takie łożyska. Niezależnie od warunków pracy łożyska ślizgowe największe obciążenia występują w warstwach powierzchniowych jego elementów, dlatego rzeczywisty okres niezawodnej pracy maszyny zależy od przygotowania tych warstw, a zwłaszcza od jakości ich powłok. Decydujący wpływ ma na nią technologia wytwarzania, dlatego analiza metod nanoszenia powłok przeciwtarciowych na powierzchnie ślizgowe łożysk jest problemem aktualnym i niezwykle istotnym.

Jednym z kluczowych warunków efektywnego funkcjonowania zespołów maszynowych jest naukowa analiza podstaw ich działania. Reguły osiągania jakości na międzynarodowym poziomie określone zostały w standardach ISO 9000. Wyróżnia się osiem podstawowych zasad kształtowania jakości, które kierujący produkcją powinni stosować w celu poprawy wskaźników działalności przedsiębiorstwa. Głównymi wymogami są tu: orientacja na klienta, podejście systemowe i permanentna realizacja ulepszeń [1, 2].

Wdrażanie i stosowanie kształtowania jakości zgodnie z międzynarodowymi normami wymaga określenia:

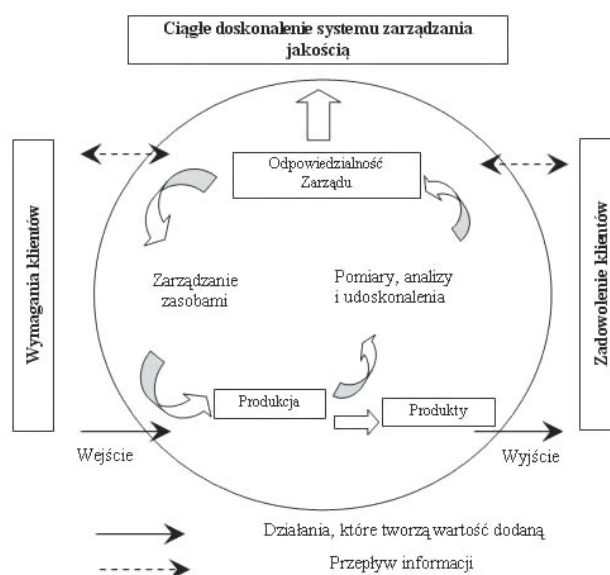
- potrzeb i oczekiwań klientów względem jakości produktów,
- procesów i zależności niezbędnych do osiągnięcia postawionych celów,
- odpowiednich cykli remontowych koniecznych do realizacji polityki jakości.

Wymagania wobec stosowania systemów kształtowania jakości wynikają z zapisów normy ISO 9000-2007 (rys. 1). Ten model może być podstawą do określenia wymagań dla systemów kształtowania jakości w produkcji łożysk ślizgowych.

Opracowanie takiego systemu pozwala na:

- uporządkowanie i skoordynowanie działań mających na celu dbałość o jakość produkcji łożysk,
- planowanie jakości drogą ustanawiania celów,

- określenie procesów odpowiedzialnych za cykl remontowy i osiągnięcie założonej trwałości oraz oczekiwanej niezawodności,
- kontrolowanie jakości procesów poprzez sprawdzanie poprawności każdego z ich etapów i zgodności z opracowaną dokumentacją,



Rys. 1. Model kształtowania systemu jakości

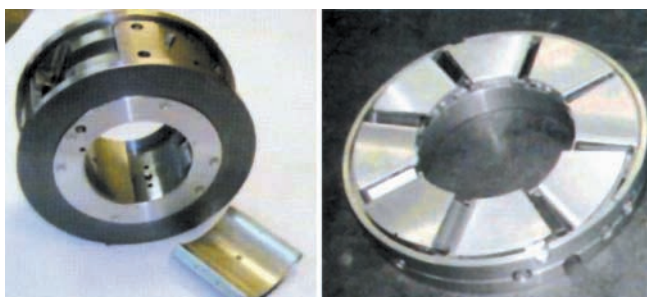
- zagwarantowanie poprawy jakości produkowanych łożysk. Szczególnym elementem łożyska ślizgowego są panewki, zabudowywane w oprawie łożyska lub bezpośrednio w korpusie maszyny (rys. 2). Panewki z różnych względów wykonuje się jako oddzielne elementy, a ich trwałość określa cykl remontowy, w którym przewiduje się wymianę tych części po zużyciu.

W budowie maszyn do wykonania panewek stosuje się żeliwa, brązy i stopy łatwo topliwe na osnowie z cyny, ołowiu, cynku lub aluminium, które nazywa się babbitymi. Charakteryzują się one obecnością twardych strukturalnych składników w plastycznej matrycy.

Pod względem właściwości przeciwnośnych babbity przewyższa wszystkie inne stopy stosowane na panewki. Jego wytrzymałość mechaniczna znacznie jednak ustępuje brązom i żeliwom, dlatego stosuje się go tylko jako cienką powłokę na powierzchni roboczej panewki. W zależności od potrzeby powłoki z babbity nanosi się zarówno na płaskie, jak i krzywoliniowe powierzchnie.

Niezawodność łożysk ślizgowych zależy nie tylko od jakości ich wykonania, lecz także od dokładności montażu, prac remontowych oraz spełnienia wymagań zawartych w dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej. Jakość warstwy powierzchniowej łożyska ślizgowego zależy m.in. od materiału powłoki, metody jej nanoszenia i procesu technologicznego.

\* Doc. dr hab. inż. Natalia B. Tarelnyk (tarelnyk@sum.du.ua), mgr inż. Aleksandr Dziuba (dziuba@sum.du.ua), student Anton Konoplianchenko – Uniwersytet Sumy, Ukraina; mgr inż. Krzysztof Antoszewski (ktrka@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska



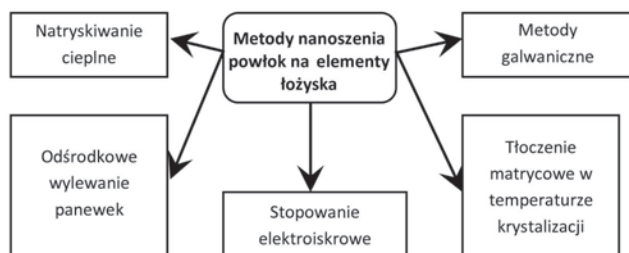
Rys. 2. Elementy konstrukcyjne łożysk ślizgowych z powłoką babbitową: a) wewnętrzna powierzchnia panewki łożyska, b) płaska powierzchnia łożyska oporowego

Główne wymagania odnośnie do przeciwciernych stopów wynikają z warunków pracy panewek. Powinny one mieć dostateczną, ale nie za dużą twardość, tak aby nie powodować zbyt szybkiego zużywania się wału. Powinny także odpowiednio deformować się pod wpływem naprężeń stycznych oraz mieć mały współczynnik tarcia z materiałem czopa. Z tych względów ważnym zadaniem jest kształtowanie warstw powierzchniowych łożyska, aby nadać szczególne właściwości powierzchniom roboczym.

### Analiza ostatnich badań i publikacji

Zgodnie z tradycyjną technologią babbity wylewa się na podgrzane podłoże ( $250^{\circ}\text{C}$ ) przy temperaturze  $450\pm 480^{\circ}\text{C}$ . Często stosuje się odlewanie odśrodkowe, a także odlewanie w kokilach pod ciśnieniem. Grubość wylanej warstwy wynosi  $1\pm 3$  mm [3, 4]. Należy zaznaczyć, że wraz ze zmniejszaniem grubości wylanej warstwy przeciwcierniej następuje poprawa parametrów mechanicznych warstwy. Najmniejsza grubość wylanej warstwy to  $0,25\pm 0,04$  mm. W ostatnich latach w produkcji i remontach łożysk ślizgowych wykorzystuje się szereg nowych metod, jak: natryskiwanie cieplne, galwaniczne nakładanie powłok, nakładanie powłok w zakresie temperatur krystalizacji [5, 7]. W przypadku nanoszenia przeciwciernych powłok na panewki łożysk ślizgowych metoda stopowania elektroiskrowego wydaje się bardzo perspektywiczna i znalazła już zastosowanie przemysłowe [8].

Analiza literatury przedmiotu wykazuje, że współcześnie istnieje wiele metod kształtowania przeciwciernych powłok babbitowych, z których każda ma zalety oraz wady, a także niższe obszary zastosowania. W takim ujęciu celem pracy jest poprawa jakości łożysk ślizgowych drogą analizy problemu i oceny przydatności analizowanych metod oraz wybór najbardziej odpowiedniej. Technologie nanoszenia przeciwciernych powłok na panewki łożysk ślizgowych zestawiono na rys. 3.



Rys. 3. Metody nanoszenia przeciwciernych powłok na elementach łożysk ślizgowych

■ **Odśrodkowe wylanie panewek.** Przy odśrodkowym odlewaniu roztopiony babbitt wprowadzany jest w głąb obracającej się oprawy panewki łożyska. Wykorzystuje się tu specjalne oprzyrządowanie zamontowane zwykle na tokarce. Ponieważ każdy stop babbitu ma swoje specyficzne właściwości, odlewanie powinno się odbywać z dotrzymaniem wymaganych parametrów topienia i odlewania, które to parametry powinny być kontrolowane na każdym etapie procesu. Bardzo ważną właściwością panewek jest przyczepność

powłoki babbitowej do podłoża. Pomimo dostępu do licznych metod oceny przyczepności powłoki (metody optyczne, ultradźwiękowe, wizualne i inne) nie zawsze można osiągnąć wymaganą wartość przyczepności. Oprócz tego tradycyjne metody odlewania związane są z dużymi stratami babbitu, co zwiększa koszty produkcji łożysk ślizgowych.

■ **Natryskiwanie cieplne [5].** Metoda wytwarzania i ochrony części maszyn z wykorzystaniem natrysku cieplnego to proces, w którym otrzymuje się powierzchnie o specjalnych właściwościach poprzez natryskiwanie na podłoże roztopionych cząstek metalu zawieszonych w strumieniu gazu o dużej prędkości. Technologie natryskiwania cieplnego intensywnie się rozwijają, a do ich najnowocześniejszych odmian należą natryskiwanie zimnym gazem oraz naddźwiękowe.

Tymi metodami nanosi się powłoki na wiele części maszyn, w tym na panewki łożysk ślizgowych. Metody natrysku cieplnego zapewniają dużą powtarzalność, pozwalają uzyskać powłokę w szerokim zakresie grubości ( $0,1\pm 3$  mm) i właściwościach pożądanym w eksploatacji maszyn. W niektórych zastosowaniach jakość powłok uzyskanych tą metodą nie spełnia oczekiwań. Dotyczy to zwłaszcza ograniczonej przyczepności, porowatości, wrażliwości na obciążenia skupione i udary oraz niekiedy niekorzystnych zmian struktury materiału. Z tych powodów wykorzystanie natryskiwania cieplnego jest ograniczone, a jednocześnie często jest to metoda zalecana dla trudnych i szczególnych przypadków.

■ **Metody galwaniczne.** Są to metody wytwarzania i otwarzania powłok na zużytych panewkach poprzez galwaniczne osadzanie wieloskładnikowych warstw. Technologia ta obejmuje następujące etapy procesu: wstępną obróbkę mechaniczną panewki, odtłuszczenie, trawienie, osadzanie cienkiej niklowej warstwy pośredniej na aluminiowym podłożu, osadzanie przeciwciernych stopów ołowiu z cyną i antymonem lub ołowiu z cyną i miedzią z elektrolitów. Wprowadzenie do stopów cynowo-ołowiowych trzeciego składnika zwiększa mikrotwardość, przyspiesza docieranie oraz poprawia odporność na zużywanie ścierne i erozyjne. Oprócz zastrzeżeń ekologicznych do niedostatków metod galwanicznych można zaliczyć duże naprężenia warstwy powierzchniowej, które zanikają wraz ze zwiększaniem grubości powłoki. Pojawiające się wówczas naprężenia rozciągające prowadzą do zmniejszenia wytrzymałości zmęczeniowej. Wadą powłok galwanicznych bywa również ich niewystarczająca przyczepność do podłoża.

■ **Tłoczenie matrycowe w temperaturze krystalizacji.** Jest to stosunkowo nowa metoda kształtowania babbitowej warstwy przeciwcierniej. Polega ona na użyciu narzędzia kształtującego w temperaturze krystalizacji stopu. Ten sposób umożliwia najbardziej efektywne kontrolowanie formowania struktury w babbicie. Pilnując odpowiednio temperatury procesu oraz szybkości deformacji, można uzyskać drobnoziarnistą strukturę tworzonej warstwy w całej objętości, co wydatnie poprawia jej właściwości eksploatacyjne (odporność na zużycie i naciski). Mankamentem tej technologii jest długi i złożony cykl produkcyjny.

■ **Stopowanie elektroiskrowe.** Jak już wspomniano, metoda stopowania elektroiskrowego jest szczególnie przydatna do nanoszenia powłok przeciwciernych. Dzięki szerokiej gamie materiałów, które można stosować, a także kontroli środowiska otoczenia elektrod, metodą tą można zmieniać własności mechaniczne, cieplne, elektryczne, termoemisyjne i inne. Metodą stopowania elektroiskrowego można oddziaływać lokalnie, osiągając wysoką przyczepność do podłoża bez nagrzewania materiałów w procesie stopowania powłoki. Kolejną cechą charakterystyczną jest możliwość stosowania zarówno czystych metali, jak i ich stopów, a także metalowo-ceramicznych kompozytów czy stopów trudno topliwych. Wreszcie tą metodą można osiągnąć dyfuzyjne wzbogacenie katody (tu: detalu) składnikami anody (elektrody) bez zmiany rozmiaru detalu. Metoda ta nie wymaga też specjalnego przygotowania detalu, a niezbędna do jej stosowania aparatura jest małogabarytowa i łatwa do przemieszczania.



Jako wady tej metody należy uznać [6, 9]:

- zwiększenie chropowatości powierzchni,
- tworzenie się naprężeń w warstwie wierzchniej,
- zmniejszenie odporności na zmęczenie.

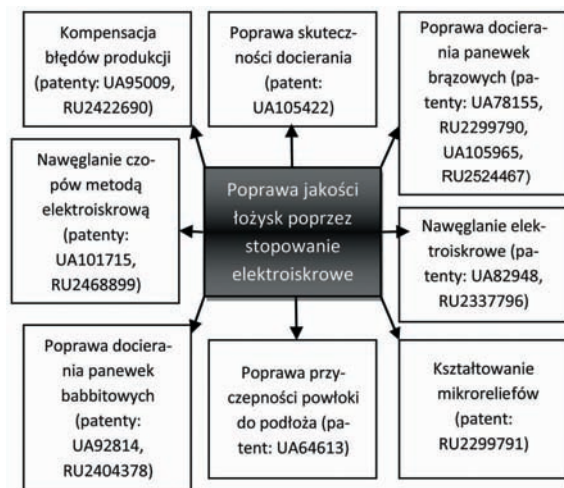
Tym wadom można przeciwdziałać różnymi sposobami, np. poprzez zastosowanie powłok wielowarstwowych czy optymalizację procesu z używaniem specjalnych elektrod. Bardzo dobre efekty daje też kombinacja stopowania elektroiskrowego z innymi technologiami, np. nagniataniem.

Elektroiskrowa obróbka powierzchni wymaga odpowiedniego podejścia. W związku ze stosunkowo niewielką grubością powłoki (ok. 0,10 mm), nie można zastosować szlifowania jako obróbki zmniejszającej chropowatość. Można natomiast zmniejszyć chropowatość, a także zmienić charakter naprężeń z rozciągających na ściskające poprzez zastosowanie kulowania. Wartość osiąganych naprężeń ściskających nie jest przy tym uzależniona od parametrów nagniatania, co świadczy o wystąpieniu stanu płynności plastycznej w warstwie powierzchniowej. W ostatnich latach w celu zmniejszenia chropowatości stosuje się często ultradźwiękową obróbkę materiałów. Urządzenia do wykończeniowej obróbki ultradźwiękowej są przystosowane do typowych elementów o kształtach: cylindrycznych, pierścieniowych, stożkowych, sferycznych i innych.

Korzystne specyficzne właściwości stopowania elektroiskrowego, takie jak:

- możliwość nanoszenia na metalowe powierzchnie dowolnych przewodzących prąd materiałów ściśle połączonych z podłożem,
- możliwość prowadzenia procesów lokalnie w wybranym miejscu detalu,
- brak odkształceń i zmian struktury stopowanego materiału, powodują, że metodę tę należy uznać za niezwykle przydatną do zwiększania wytrzymałości łożysk ślizgowych.

Na rys. 4 zestawiono stosowane w praktyce patenty dotyczące powłok na elementach łożysk ślizgowych. I tak, zastosowanie warstwy przejściowej z miedzi naniesionej metodą elektroiskrową na podłoże ze stali C22 poprawia przyczepność babbittowej warstwy przeciwciernej o 35% [10].



Rys. 4. Zastosowanie stopowania elektroiskrowego do poprawy jakości łożysk ślizgowych [10÷21]

Nanoszenie powłoki na zewnętrzne powierzchnie panewki lub w miejscach osadzenia panewki w korpusie kompensuje niedokładności wykonania i montażu, co poprawia warunki docierania. Nanoszenie specjalnych powłok na babbittowe i brązowe panewki [13÷18], a także czopy wałów [19] może poprawić jakość łożyska ślizgowego. Nanoszenie na robocze powierzchnie panewek przeciwciernych materiałów kształtuje na ich powierzchniach specyficzne mikroreliefy, które wydają się podnoszą nośność pary łożyskowej [20].

Praktyczne zastosowanie znalazły też metody elektroiskrowego nawęglania czopów wałów [21]. Ostatnio wykonuje się

też próby nanoszenia przeciwciernych warstw na stalowe i brązowe panewki, jednak wymienione wcześniej wady stopowania elektroiskrowego uniemożliwi szersze wykorzystanie tej metody.

## Wnioski

- Każda z rozważanych metod nanoszenia powłok przeciwciernych ma zalety i wady. W najszerszym zakresie wymagania spełnia metoda stopowania elektroiskrowego.
- Dalsze doskonalenie elektroiskrowej technologii nanoszenia powłok przeciwciernych na elementy łożysk ślizgowych powinno być ukierunkowane na zwiększenie grubości powłok z zachowaniem ich dotychczasowych właściwości.

## LITERATURA

1. Sistemi upravlinny yakisty. Osnovni polozhennya ta slovník terminiv: DSTU ISO 9000-2007 [Chinniy vid 01.01.2008]. K.: Derzhspozhivstandart Ukraïni. 2009, 181 s. (Natsional'ni standarti Ukraïni).
2. Rudenko V.P., Tarel'nik N.V. Mizhnarodni printsipi ta sistemi upravlinny yakisty produktsii/II Materiali naukovopraktychnoi konferentsii vkladachiv, aspirantiv ta studentiv SNAU (Sumi. 12÷15 zhovtnya 2008 r.)/Sums'kiy natsional'niy agrarniy universitet. Sumi: Dovkillya, 2008, s. 273.
3. Gulyayev A.P. Metallovedeniye. Uchebnyk dlya vuzov/6-ye izd., pererab. i dop. M.: Metallurgiya, 1986, 544 s.
4. YU.M. Lakhtin, V.P. Leont'yeva. Materialovedeniye: Uchebnyk dlya vysshikh tekhnicheskikh uchebnykh zavedennyh/3-ye izd., pererab. i dop. M.: Mashinostroyeniye, 1990, 528 s.
5. Pometun S.K. Opyt OOO «TSZP» po uvelicheniyu resursa obrudovaniya metodami gazotermicheskogo napyleniya//Khimicheskaya tekhnika. 2009, nr 4, s. 8–9.
6. Lebedeva A.P. A.P., Lebedeva, T.N. Pogorelova. Vosstanovleniye detaley mashin/M.: Mashinostroyeniye, 2003. – s. 672.
7. N.P. Barykin, R.F. Fazlyakhmetov. Izgotovleniye podshipnikov skol'zheniya s primeneniyem shtampovki antifriksionnogo sloya v usloviyakh kristallizatsii i posleduyushchey plasticheskoj deformatsii//Kuznechno-Shtampovochnoye proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniyem. 2006, nr 9, s. 27÷29.
8. Lazarenko N.I. Elektroiskrovoye legirovaniye metal-licheskih poverkhnostey/M.: Mashinostroyeniye, 1976, s. 46.
9. V.B. Tarel'nik, V.S. Martsinkovskiy, B. Antoshevskiy. Povysheniye kachestva podshipnikov skol'zheniya/Sumy: Makden, 2006, s. 160.
10. Pat. 64613 Ukraina, MPK V23N 1/00, 3/00, 5/00, F16S 33/04. Sposib obrabki vkladishiv pidshipnikiv kovzannya/Martsinkovskiy V.S. Nr 2.
11. Pat. 95009 Ukraina, MPK F16S 9/00, F16S 33/04, V23N 9/00. Sposib zborki pidshipnika kovzannya/ Martsinkovskiy V.S., Tarel'nik V.B., Tarel'nik N.V.; zayavleniy. 07.12.2009; opubl. 25.06.2011, Byul. nr 12.
12. Pat. 2422690 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F16S 17/02, F16S 33/04, F16S 43/02. Sposob sborki podshipnika skol'zheniya/Martsinkovskiy V.S., Tarel'nik V.B., Tarel'nik N.V.; zayavl. 14.12.2009; opubl. 27.06.2011, Byul. nr 18.
13. Pat. 2404378 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F16S 33/04, V23N 1/00, V23N 5/00. Sposob obrabotki vkladyshey podshipnikov skol'zheniya/Martsinkovskiy V.S., Tarel'nik V.B.; zayavitel' i patentoobladatel'. – zayavl. 24.02.2009; opubl. 20.11.2010, Byul. nr 32.
14. Pat. 92814 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F16S 33/04, V23N 1/00, V23N 5/00. Sposob obrabotki vkladyshey podshipnikov skol'zheniya/Martsinkovskiy V.S., Tarel'nik V.B.; zayavl. 29.01.2009; opubl. 10.12.2010, Byul. nr 23.
15. Pat. 78155 Ukraina, MPK F16S 33/04, V23N 1/00, V23N 9/00. Sposib obrabki vkladishiv pidshipnikiv kovzannya/Martsinkovskiy V.S., Tarel'nik V.B., Pchelintsev V.O.; zayavleniy. 25.10.2005; opubl. 15.02.2006, Byul. nr 2.
16. Pat. 2299790 Rossiyskaya Federatsiya, MPK V23N 1/00, F16S 33/04. Sposob obrabotki vkladyshey podshipnikov skol'zheniya/Martsinkovskiy V.S., Tarel'nik V.B., Pchelintsev V.O.; zayavl. 29.11.2005; opubl. 27.05.2007, Byul. nr 15.
17. Pat. 105965 Ukraina, MPK V23N 5/00. Sposib obrabki vkladishiv pidshipnikiv kovzannya/Martsinkovskiy V.S., Tarel'nik V.B., Dzyuba O.V.; opubl. 10.07.2014, Byul. Nr13.
18. Pat. 2524467 Rossiyskaya Federatsiya, MPK S1, V23N 9/00. Sposob obrabotki vkladyshey podshipnikov skol'zheniya/Martsinkovskiy V.S., Tarel'nik V.B., Dzyuba A.V.; opubl. 27.07.2014, Byul. nr 21.
19. Pat. 105422 Ukraina, MPK V23N 5/00. Sposib polipshenniya priprats'ovuvanosti pari tertya «vkladishiv pidshipnika shiyka vala/ Martsinkovskiy V.S., Tarel'nik V.B., Dzyuba O.V.; opubl. 12.05.2014, Byul. nr 9.
20. Pat. 2299791 Rossiyskaya Federatsiya, MPK V23N 9/00, S23S 26/00, S23S 28/00. Sposob obrabotki vkladyshey podshipnikov skol'zheniya/Martsinkovskiy V.S.; zayavl. 29.11.2005; opubl. 27.05.2007, Byul. nr 15.
21. Pat. 82948 Ukraina, MPK S23S8/00. Sposib tsementatsii staleykh detaley yelektroyerozlynim leguvannym/ Martsinkovskiy V.S., Tarel'nik V.B., Belous A.V.; opubl. 25.03.2008, Byul. nr 6. ■