

Leszek UŁANOWICZ, Grzegorz JASTRZĘBSKI, Michał JÓŹKO,
 Paweł SZCZEPANIAK
Air Force Institute of Technology (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych)

METHOD FOR IMPROVING THE AIRCRAFT HYDRAULIC DRIVES ABILITY TO WORK

Metoda zwiększania zdolności do pracy lotniczych napędów hydraulicznych

Abstract: *One of the approaches to ensure friction stability in hydraulic precise pairs can be coating their components with low-friction materials with the friction coating method using a metal, e.g. brass. The article presents the method of applying brass on the steel surface of a hydraulic pair using friction. It discusses the technology of brass plating of hydraulic precise pairs and the results of laboratory tests involving friction-brasses hydraulic precise pairs. The factors impacting the quality of brass-coating process of hydraulic precise pairs and the requirements set for hydraulic precise pairs subject to friction-brassing were also discussed.*

Keywords: aviation, aircraft, hydraulic drive, reliability

Streszczenie: *Jednym z kierunków zapewnienia stabilności tarcia w hydraulicznych parach precyzyjnych może być pokrywanie ich elementów materiałem o małym współczynniku tarcia metodą tarcowego pokrycia metalem np. mosiądzem. W artykule przedstawiono metodę nanoszenia mosiądzu na stalową powierzchnię pary hydraulicznej za pomocą tarcia. Omówiono technologię wykonania procesu mosiądzowania hydraulicznych par precyzyjnych oraz wyniki badań laboratoryjnych mosiądzowanych tarciowo hydraulicznych par precyzyjnych. Przedstawiono czynniki wpływające na jakość procesu mosiądzowania hydraulicznych par precyzyjnych oraz wymagania stawiane hydraulicznym parom precyzyjnym podlegającym tarcowemu mosiądzowaniu.*

Słowa kluczowe: lotnictwo, statek powietrzny, napęd hydrauliczny, niezawodność

1. Introduction

The ability of a hydraulic system to work primarily depends on the correct functioning of mobile connections comprising its structure, also called the hydraulic precise pairs. Hydraulic precise pairs act as an adjusting, distributing and forcing device. The function of the perceiving, adjusting and distributing element within a hydraulic precise pair is usually fulfilled by a slider (plunger, small piston), which is impacted by pressure forces of the liquid and spring. The hydraulic precise pairs can exercise reciprocating, rotating and rotating-return movements or, simultaneously, movements being a combination of the aforementioned ones. The moving pair element (slider, plunger) may be driven mechanically (through strands) or elastically (springs), hydraulically (through changing the working fluid pressure) and electrically (using electromagnetic devices). Sometimes, a combination of the above is used.

Cylindrical or flat elements of hydraulic precise pairs are executed with high accuracy and smoothness. They have clearances ensuring slot and contactless sealing (i.e. without sealing elements in the form of elastomer rings). The basic requirements for hydraulic precise pairs include their high operating stability, low friction forces and internal tightness, i.e., the presence of minimal leaks of the working fluid through clearances in their elements, which do not increase in the course of the operation above the permissible limit.

The most frequent cause of a sudden failure of hydraulic precise pairs in the course of operation is impaired friction stability, which entails jamming or wedging of the slider (plunger, small piston) in the sleeve [4, 5, 13, 14]. On the other hand, impaired friction stability results from adhesive interactions (tacking) of adjusting slider pairs under contact-vibrating load, ingress of dispersive abrasive particles with high hardness between the surfaces of the slider rings and sleeve, hydraulic skewing of the slider within the sleeve caused by imbalanced radial hydrostatic force or resistance against the slider moving after prolonged resting in the presence of pressurized working fluid.

Therefore, there is a need to search for methods to increase the fitness and reliability (uptime) of hydraulic precise pairs aimed at preventing the reproducibility of damage to these pairs. The authors believe that the basic directions of searching for methods to increase the fitness and reliability of hydraulic precise pairs are: changing the kinematics of friction node elements eliminating the formation of tacking or hydraulic jamming of moving connections, creating favourable cooperation conditions for matched elements within a friction contact by selecting their microgeometry and the friction properties of the surfaces.

One of the approaches to ensure friction stability in hydraulic precise pairs can be coating their components with low-friction materials with the friction coating method using metal [6-12]. The concept of the suggested method for decreasing friction and wear of hydraulic pair elements involves the rubbing pairs to have an applied thin layer of brass. The brass layer will act as solid grease in the course of the operation of the hydraulic pair and will protect the pair's surface against wear. The idea of this process is that prior to the installation of hydraulic precise pairs, they are covered with a thin layer of brass or bronze. The suggested method is an alternative to the method of electrolytic cyano-brass plating of

steel elements in acidic electrolytes [15-19]. The presented method is a base for new machining processes involving rubbing hydraulic precise pair surfaces, and is less expensive and does not require particular safety measures.

2. Brass plating of hydraulic precise pairs using friction

The process of brass-plating a steel surface of a hydraulic pair is executed through sliding friction of a brass rod against the surface of the pair. It is based on the phenomenon of tacking and transferring brass onto the steel element of a hydraulic pair during friction. In order to create a compact brass surface on the surface of a steel element using the friction method, it is necessary for the sliding friction of the brass rod against the workpiece surface to happen when tacking of the steel element surface with the brass rod. Sticking brass onto the steel surface should take place not in the form of separate, large individual (isolated) particles but rather a compact layer. The layer should consist of very fine particles, well tacked both with the steel surface, as well as with each other.

The brass plating process involving a hydraulic pair using the friction coating method can be executed using a threading lathe. Setting a hydraulic pair element and a brass rod for friction-based brass plating on a lathe is shown in fig. 1. A brassed hydraulic pair element is fixed in the centre holes of the lather spindle, while the brass rod is fixed in the device (fig. 2), which in turn is fixed in the lather support.

Device for fixing a brass rod (fig. 2) presses it to the workpiece surface using a spring, which ensures the set unit pressure during brass plating. The compression of the spring, hence, the magnitude of the rod-element pressure is tested using a scale applied on the plunger, in which the rod is fastened. Such fastening of the rod enables, as its protruding part wears down, to extend appropriately.

The brass plating process should be executed in a technical glycerine medium. Glycerine, as a result of its chemical activity relative to copper alloys and the heat emitted during friction, restores a brass oxide film at the points of contact with the steel surface [1-3].

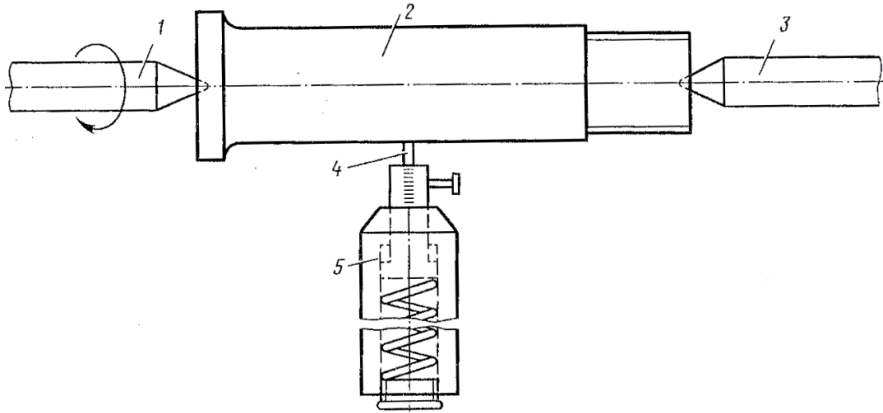


Fig. 1. Setting the workpiece and brass rod for friction-based brass plating on a lathe
1) spindle centre holes, 2) brass-plated workpiece, 3) moving centre hole, 4) brass rod, 5) device fixed in the lathe support

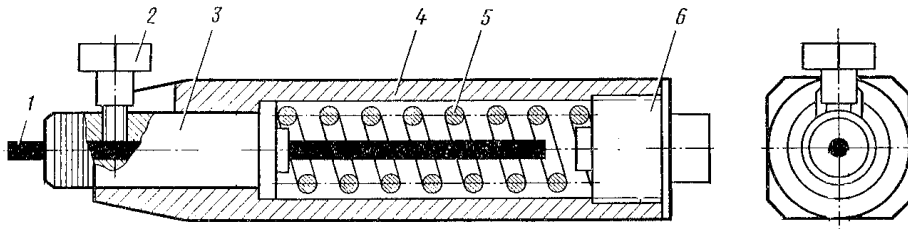


Fig. 2. Device for fastening the brass rod
1) brass rod, 2) screw, 3) plunger, 4) device hood, 5) spring, 6) spring adjusting plug

The outcome is the steel element surface being covered with a compact, strongly tacked with the base material layer of brass in the form of a compact film with a thickness of several millimetres and the same surface smoothness as the output smoothness.

The friction-based brass plating of a rotary-shaped hydraulic pair steel element is conducted as follows:

- installing the hydraulic pair element within a centre lathe (universal) axis,
- deburring of the machined hydraulic pair element with sandpaper,
- wetting the machined hydraulic pair element surface with glycerine,
- friction-based brass plating of the hydraulic pair element surface,
- removing the hydraulic pair element from the lathe,
- washing and preservation of the hydraulic pair element.

In order to remove the oxide film from the machined hydraulic pair surface, it is deburred manually using aloxite sandpaper with a grit size of 280-320. A brass-plated surface of a hydraulic pair is wetted with technical glycerine using a bristle paintbrush to fully cover the entire machine surface with a continuous glycerine coat.

The friction-based brass plating of a hydraulic pair surface is executed through the sliding friction of an L-62 or LS-59 brass rod against a pair element surface. The cross-section of a brass rod should be rectangular (4 mm wide and 3 mm high) or circular, 4 mm in diameter. The rotational speed of a brass plated hydraulic pair should match a sliding speed of 0.15-0.2 m/s. The brass rod fixed in the device (fig. 2) is embedded in a lathe support, at the height of the centre.

The brass rod is pressed against the hydraulic pair, using a force corresponding to a unit pressure of 100-150 MPa. The displacement along the brass plated hydraulic place takes place at a rate of 0.1-0.2 mm/rev. The longitudinal feed rate and the dimensions of the rod cross-section are optimal when using the recommended device.

Three attempts have to be made in order to achieve a brass plating quality on the hydraulic pair surface. Prior to each attempt of the brass coating process, the glycerine coating of the machined surface shall be removed and a new, fresh glycerine film should be applied using a brush.

After brass plating, the hydraulic pair element shall be thoroughly washed in water, dried with compressed air, inspected for brass coating using a magnifying glass with a 4x zoom and grease with preservative grease. The view of brass plungers of the hydraulic pump and hydraulic distributor slide is shown in fig. 3.



Fig. 3. A view of the brass plungers of the hydraulic pump and hydraulic distributor slide

3. Laboratory tests of friction-brassed hydraulic precise pairs

Laboratory tests of hydraulic precise pairs made of 30HGSA and 12HN3A steels to HRC hardness 38-42 were conducted in order to determine the efficiency of friction-based brass plating. The diagram of a test stand used for hydraulic pair testing is shown in fig. 4.

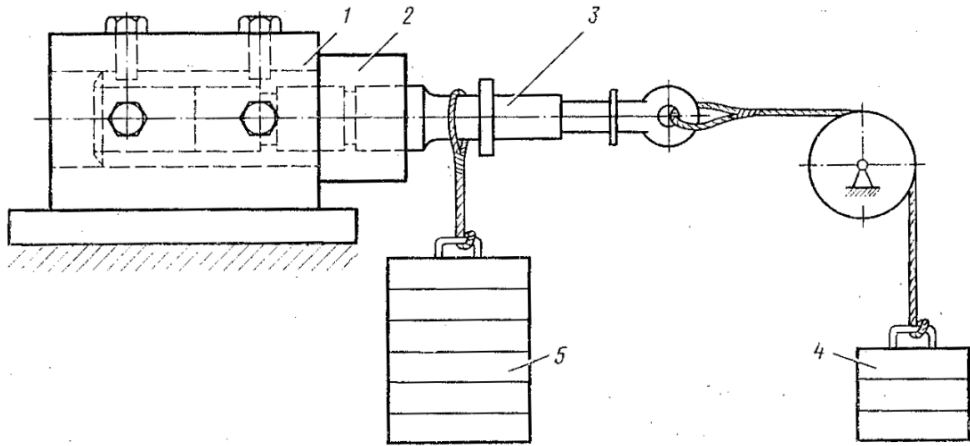


Fig. 4. Test stand for brass plated hydraulic precise pairs

- 1) base for attaching the sleeve, 2) sleeve, 3) tested brass plated element of the hydraulic pair,
- 4) load overcoming the friction force within a hydraulic pair, 5) load inducing skewing of the hydraulic pair element

The most difficult operating conditions of hydraulic precise pairs occur under the presence of forces skewing the slider (plunger) relative to the sleeve. This is why, the forces were applied to the tip of the plunger, which resulted in skewing the elements of the pair. The load was applied gradually during the tests. The force directed along the plunger axis, shifting the plunger relative to the sleeve was measured for each load value. This made it possible to obtain a relationship of the coefficients of friction within a plunger pair and the load magnitude. The tests involved a hydraulic pair plunger without brass plating, as well as pairs with the plunger brass plated using the friction method. The tests were conducted with the hydraulic pair plunger lubricated with Aero Shell Fluid 41 oil. The test results are shown in fig. 5.

The laboratory tests of hydraulic plunger pairs indicate that friction-based brass plating applied to hydraulic precise pair elements reduces the coefficient of friction and increases the resistance to scuffing.

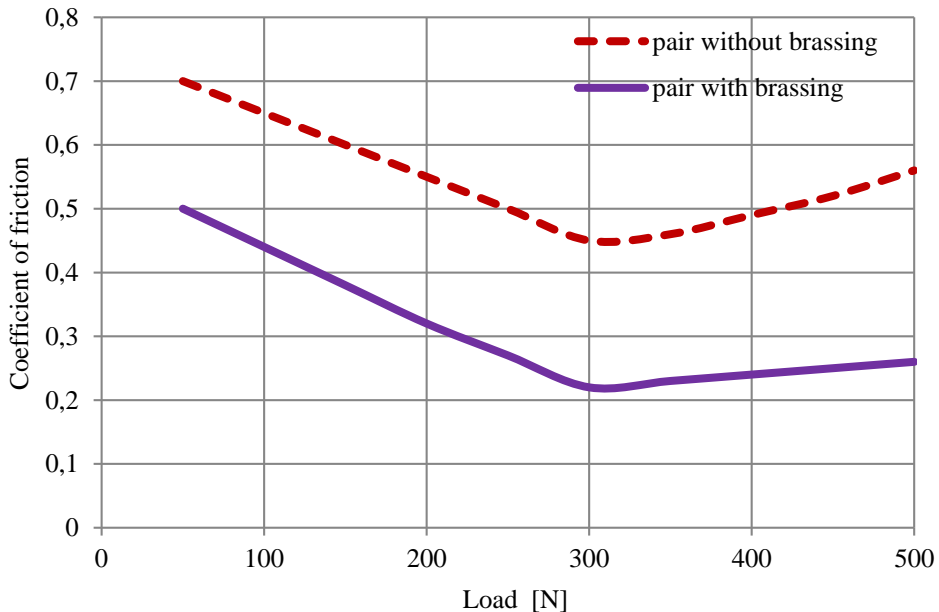


Fig. 5. Relationship between the coefficients of friction in plunger pairs and the applied load

In the case of friction-based brass plated hydraulic precise pairs made of 30HGSA and 12HN3A steel, thermally machined to a HRC hardness 38-42, the best results were obtained in a medium consisting of 50 ml of glycerine and 10 ml of aniline, and at a feed rate of 0.1 m/s, longitudinal feed of the brass rod of 0.08 mm/rev. and a pressure of 70 MPa.

4. Conclusions

The experience of friction-based brass plating of the steel workpieces of hydraulic precise pairs indicates that the brass plating process is impacted by the following factors:

- degree of degreasing of the brass plated surface and the complete removal of the oxide film. The presence of grease and oxide films on the surface of a hydraulic pair element does not enable obtaining a brass coating of the highest quality;
- output smoothness of the hydraulic pair surface. The smoothness of the hydraulic pair surface impacts the compactness (density) of the brass coating;
- the unit value of pressure used to press the brass rod against the hydraulic pair surface. Insufficient unit value of the pressure leads to decreased coat compactness, and excessive pressure enables the formation of annular scratches on the workpiece surface;

- sliding speed of the brass rod relative to the hydraulic pair surface. Deviation of the sliding speed from the optimal value reduces the process efficiency or decreases the coat thickness;
- longitudinal feed rate of the brass rod. Increasing the feed rate decreases the coat compactness, while reducing the feed rate decreases the efficiency;
- run-out size of the machined surface relative to lathe centre lines. The greater the run-out, the more uneven the brass coat relative to the thickness;
- wetting the brass plated surface with glycerine. No glycerine film on the hydraulic pair surface during brass plating leads to dry friction and can cause damage to the machined workpiece surface.

The hydraulic precise pairs subject to friction-based brass plating are faced with the following requirements:

- the output micro-roughness of the pair element surfaces should correspond to the smoothness class of not less than 7. In the event of a rougher machining of the hydraulic pair surface, it is impossible to achieve a compact brass coat during friction-based brassing;
- the run-out of the brass plated hydraulic pair element relative to lathe centres shall not exceed 0.1 mm. Run-out significantly decreases the quality of the brass coat, impacting the uniformity of its thickness, compactness and surface smoothness;
- prior to brass plating, the hydraulic pair surface should be degreased. For this purpose, wash the surface in B-70 gasoline and dry it;
- if a brass plated hydraulic pair has radial openings or annular boring, then the diameter of the brass rod shall not be larger than the opening diameter and boring width.

5. References

1. Bulgarevich S.B., Boiko M.V., Feizova V.A., Akimova E.E.: Effect of pressure on chemical reactions in the zone of direct friction contact of systems with selective transfer. *J. Frict. Wear*, Vol. 32, 2011.
2. Garkunov D. N.: Past and future selective transfer in friction. Materials of the International Conference BALTRIB'99, 21-22 September, Lithuanian University of Agriculture, Kaunas 1999.
3. Garkunov D.N.: Scientific discoveries in tribo technologies. In *No-Wear Effect under Friction: Hydrogen Wear of Metals*. MAA Publishing House, Moscow 2007.
4. Hao-Wei Wang, Ke-Nan Teng: Residual life prediction for highly reliable products with prior accelerated degradation data. *Maintenance and Reliability*, Vol. 18(3), 2016.

5. Klarecki K., Rabsztyń D., Hetmańczyk M.P.: Influence of the controller settings on the behaviour of the hydraulic servo drive. *Mechatronics - Ideas for Industrial Application. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 317, 2015.
6. Laber A., Adamczuk K.: Badania własności tribologicznych brązu CuSn12Ni2 w obecności preparatu eksploatacyjnego o działaniu chemicznym [The study of tribological properties of bronze CuSn12Ni2 in the presence of the exploational preparation]. *Tribologia*, Vol. 5, 2009.
7. Laber A.: Modyfikowanie warunków pracy węzła tarcia olejami z dodatkami eksploatacyjnymi na bazie środków smarnych stałych [Modifying the operating conditions of friction pairs with solid lubricant based additives]. *Tribologia*, Vol. 5, 2011.
8. Laber S., Adamczuk K.: Właściwości tribologiczne węzła tarcia z wykorzystaniem wybranych gatunków brązów [Tribological properties of a friction pair with kinds of bronzes]. *Tribologia*, Vol. 6, 2010.
9. Liu G., Li X., Qin B., Xing D., Guo D., Fan D.: Investigation of the mending effect and mechanism of copper nano-particles on a tribologically stressed surface. *Tribol. Lett.*, Vol. 17, 2004.
10. Ohtsu I., Yasuda Y., Gotom H.: Wear and tribological test equipment hydraulic components. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 39(2), 2001.
11. Padgurskas J., Rukuiza R., Prosycevas I., Kreivaitis R.: Tribological properties of lubricant additives of Fe, Cu and Co nanoparticles. *Tribol. Int.*, Vol.60, 2013.
12. Pilkington G.A., Briscoe W.H.: Nanofluids mediating surface forces. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2012.
13. Scherge M., Martin J.M., Pöhlmann K.: Characterization of wear debris of systems operated under low wear-rate conditions. *Wear*, Vol. 260, 2006.
14. Scherge M., Linsler D., Schlarb T.: The running-in corridor of lubricated metal-metal contacts. *Wear*, Vol. 342, 2015.
15. Zhou J., Wu Z., Zhang Z., Liu W., Xue Q.: Tribological behavior and lubricating mechanism of Cu nanoparticles in oil. *Tribol. Lett.*, Vol. 8, 2000.
16. Zhang M., Wang X., Liu W., Fu X.: Performance and anti-wear mechanism of Cu nanoparticles as lubricating oil additives. *Ind. Lubr. Tribol.*, Vol. 61, 2009.
17. Yu H., Shi P., Xu B., Wang X., Liu Q.: Tribological properties and lubricating mechanisms of Cu nanoparticles in lubricant. *Trans. Nonferr. Met. Soc. China*, Vol. 18, 2008.
18. Yu H., Xu Y., Shi P., Xu B., Wang X., Liu Q., Wang H.: Characterization and nano-mechanical properties of tribofilms using Cu nanoparticles as additives. *Surf. Coat. Technol.*, Vol. 203, 2008.
19. Yang G., Chai S., Xiong X., Zhang S., Yu L., Zhang P.: Preparation and tribological properties of surface modified Cu nanoparticles. *Trans. Nonferr. Met. Soc. China*, Vol. 22, 2012.

METODA ZWIĘKSZANIA ZDATNOŚCI DO PRACY LOTNICZYCH NAPĘDÓW HYDRAULICZNYCH

1. Wstęp

Zdatność do pracy zespołu hydraulicznego zależy przede wszystkim od poprawnego funkcjonowania ruchomych skojarzeń, wchodzących w skład jego konstrukcji zwanych hydraulicznymi parami precyzyjnymi. Hydrauliczne pary precyzyjne spełniają funkcje urządzenia regulacyjnego, rozdzielającego i tłoczącego. Funkcje elementu postrzegającego, regulującego i rozdzielczego w hydraulicznej parze precyzyjnej spełnia zazwyczaj suwak (nurnik, tłoczek), na który działają siły ciśnienia cieczy i sprężyny. Hydrauliczne pary precyzyjne mogą wykonywać ruchy posuwisto-zwrotne, obrotowe, obrotowo-powrotne albo jednocześnie ruchy będące skojarzeniem wymienionych rodzajów przemieszczania się. Napęd ruchomego elementu pary (suwak, nurnik) może odbywać się mechanicznie (poprzez ciągną) lub sprężystych (sprężyny), hydraulicznie (poprzez zmianę ciśnienia cieczy roboczej), elektrycznie (za pomocą urządzeń elektromagnetycznych). Czasem do napędu stosuje się kombinację wymienionych sposobów.

Cylindryczne lub płaskie elementy hydraulicznych par precyzyjnych wykonane są z wysoką dokładnością i gładkością. Mają luzy zapewniające szczelinowe i bezstykowe uszczelnienie (tj. bez elementów uszczelniających w postaci pierścieni elastomerowych). Podstawowymi wymaganiami stawianymi hydraulicznym param precyzyjnym jest ich wysoka stabilność pracy, małe pod względem wielkości siły tarcia i wewnętrzna szczelność, tj. istnienie minimalnych nie zwiększających się w procesie pracy powyżej dopuszczalnej granicy przecieków cieczy roboczej przez luzy między ich elementami.

Najczęstszą przyczyną nagłej niesprawności hydraulicznych par precyzyjnych w eksploatacji jest naruszenie stabilności tarcia, z towarzyszącym temu zacięciem lub zaklinowaniem suwaka (nurnika, tłoczka) w tulei [4, 5, 13, 14]. Z kolei, naruszenie stabilności tarcia jest efektem: adhezyjnego wzajemnego oddziaływania (szczepiania) regulacyjnych par suwakowych przy ich obciążeniu kontaktowo wibracyjnym, przedostania się między powierzchnie pierścienia suwaka i tulei dyspersyjnych cząstek ściernych o wysokiej twardości, hydraulicznego przekaszania suwaka w tulei spowodowanego niezrównoważoną promieniową siłą hydrostatyczną, czy oporów ruszenia suwaka z miejsca po pewnym czasie znajdowania się jego w spoczynku w obecności płynu roboczego pod ciśnieniem.

Istnieje więc konieczność poszukiwania sposobów zwiększania zdatności i nieuszkodzalności (bezawaryjności) hydraulicznych par precyzyjnych, które mają na celu

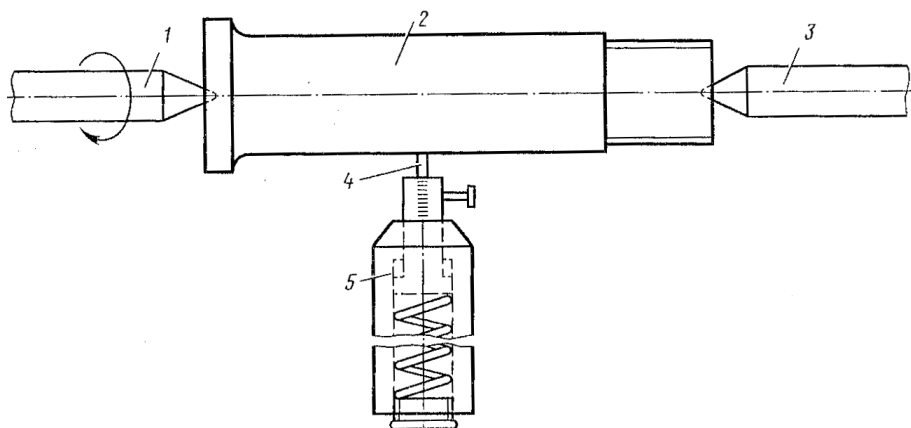
zapobieganie powtarzalności uszkodzeń tych par. Zdaniem Autorów podstawowymi kierunkami poszukiwania sposobów zwiększania zdatości i nieuszkodzalności hydraulicznych par precyzyjnych są: zmiana kinematyki elementów w węzłach tarcia, eliminującego powstawanie szepiania lub hydraulicznego zaklinowania ruchomych skojarzeń, stworzenie sprzyjających warunków współpracy skojarzonych elementów w styku tarciovym poprzez dobór ich mikrogeometrii i własności tarciovych powierzchni.

Jednym z kierunków zapewnienia stabilności tarcia w hydraulicznych parach precyzyjnych może być pokrywanie ich elementów materiałem o małym współczynniku tarcia metodą tarcioowego pokrycia metalem [6-12]. Idea proponowanego sposobu zmniejszania tarcia i zużywania się elementów pary hydraulicznej polega na tym, że trące się elementy pary będą miały naniesioną cienką warstwę mosiądzu. W czasie pracy pary hydraulicznej warstwa mosiądzu będzie odgrywała rolę smaru stałego i będzie ochraniać powierzchnię pary przed zużyciem. Istota tego procesu polega na tym, że przed montażem hydraulicznych par precyzyjnych pokrywa się je cienką warstwą mosiądzu lub brązu. Proponowana metoda jest alternatywnym rozwiązaniem metody elektrolitycznego cyjanomiedziowania elementów stalowych w kwasowych elektrolitach [15-19]. Prezentowana metoda stanowi podstawę nowych procesów technologicznych obróbki trących się powierzchni hydraulicznych par precyzyjnych, jest mniej kosztowna i nie wymaga szczególnych środków bezpieczeństwa.

2. Mosiądzowanie hydraulicznych parach precyzyjnych za pomocą tarcia

Proces nanoszenia mosiądzu na stalową powierzchnię pary hydraulicznej realizowany jest poprzez tarcie ślizgowe mosiężnego pręcika o powierzchnię pary. Opiera się o zjawisko szepiania i przenoszenia mosiądzu na stalowy element pary hydraulicznej przy tarcio. Do wytworzenia na powierzchni stalowego elementu ścisłej warstwy mosiądzu metodą tarcioową konieczne jest, żeby tracie ślizgowe mosiężnego pręcika o powierzchnię detalu następowało przy szepianiu powierzchni stalowego elementu z mosiężnym pręcikiem. Nalepianie mosiądzu na stalową powierzchnię powinno odbywać się nie oddzielnymi dużymi odosobnionymi (odizolowanymi) cząsteczkami a zwartą warstwą. Warstwa powinna składać się z bardzo drobnych cząstek dobrze szepionych zarówno z powierzchnią stalową, jak i między sobą.

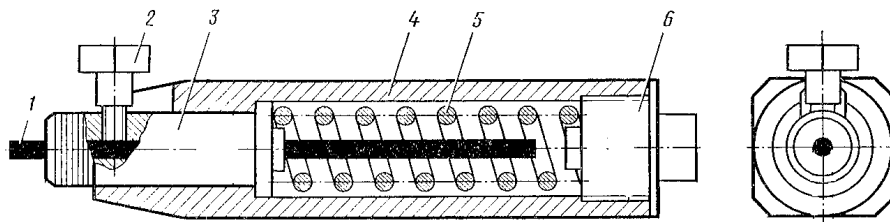
Proces mosiądzowania powierzchni pary hydraulicznej metodą pokrycia tarcioowego można wykonać na tokarce do nacinania gwintów. Ustawienie elementu pary hydraulicznej i mosiężnego pręcika przy tarciowym mosiądzowaniu na tokarce przedstawione na rys. 1. W nakielki wrzeczona tokarki mocuje się mosiądzowany element pary hydraulicznej, zaś pręcik mosiężny mocuje się w urządzeniu (rys. 2), które z kolei mocuje się w suporcie tokarki.



Rys. 1. Ustawienie detalu i mosiężnego pręcika przy tarciovym mosiądzowaniu na tokarce

- 1) nakielki wrzeciona, 2) mosiądzowany detal, 3) nakielek ruchomy, 4) pręcik mosiężny, 5) urządzenie mocowane w suporcie tokarki

Urządzenie do umocowania pręcika mosiężnego (rys. 2) dociska go do powierzchni pary hydraulicznej za pomocą sprężyny, co zapewnia zadaną wielkość nacisku jednostkowego przy mosiądzowaniu.



Rys. 2. Urządzenie do mocowania pręcika mosiężnego

- 1) pręcik mosiężny, 2) wkręt, 3) nurnik, 4) kadłub urządzenia, 5) sprężyna, 6) korek regulacji sprężyny

Kontrola ściśnięcia sprężyny, a zatem wielkości nacisku dociskany przez pręcik do elementu, jest wykonywana wg skali naniesionej na nurniku, w którym mocowany jest pręcik. Takie mocowanie pręcika pozwala, w miarę zużywania się wystającej jego części, wysuwać go na odpowiednią wielkość.

Proces tarciovego mosiądzowania należy wykonywać w ośrodku gliceryny technicznej. Gliceryna wskutek swojej chemicznej aktywności w stosunku do stopów miedzi i wydzielającego się przy tarcu ciepła odtwarza błonkę tlenków mosiądzu w miejscach stykania się ze stalową powierzchnią [1-3]. W wyniku tego powierzchnia elementu stalowego pokrywa się ścisłą, mocno szczipioną z materiałem zasadniczym warstwą mosiądzu w postaci zwartej błonki o grubości kilku milimetrów i z taką samą gładkością powierzchni, jak wyjściowa.

Proces technologiczny tarcowego mosiędzowania elementu stalowego pary hydraulicznej o kształcie obrotowym przeprowadza się następująco:

- zabudowanie elementu pary hydraulicznej w osi wrzeczona tokarki kłowej (uniwersalnej),
- zaczyszczenie obrabianej powierzchni elementu pary hydraulicznej papierem ściernym,
- nawilżenie obrabianej powierzchni elementu pary hydraulicznej gliceryną,
- tarcowe mosiędzowanie powierzchni elementu pary hydraulicznej,
- zdjęcie elementu pary hydraulicznej z tokarki,
- przemycie i konserwacja elementu pary hydraulicznej.

W celu usunięcia błonki tlenków z obrabianej powierzchni pary hydraulicznej zaczyszcza się ją ręcznie papierem ściernym elektrokorundowym o ziarnistości 280-320. Mosiędzowaną powierzchnię pary hydraulicznej nawilża się gliceryną techniczną za pomocą włosianego pędzla do całkowitego pokrycia całej obrabianej powierzchni ciągłą warstwą gliceryny.

Mosiędzowanie tarcowe powierzchni pary hydraulicznej odbywa się w procesie tarcia ślizgowego pręcika z mosiądzu L-62 lub LS-59 o powierzchnię elementu pary. Przekrój poprzeczny pręcika mosiężnego powinien mieć kształt prostokąta (szerokości 4 mm i wysokości 3 mm) lub okrągły o średnicy 4 mm. Prędkość obrotowa mosiędzowanej pary hydraulicznej powinna odpowiadać prędkości poślizgu 0,15-0,2 m/s. Pręcik mosiężny mocowany w urządzeniu (rys. 2) ustawia się w suporcie tokarki na wysokości środka kłów.

Pręcik mosiężny jest dociskany do pary hydraulicznej siłą odpowiadającą jednostkowemu ciśnieniu 100–150 MPa. Przemieszczenie wzdłuż mosiędzowanej pary hydraulicznej odbywa się z posuwem 0,1–0,2 mm/obr. Podane wielkości posuwu wzdłużnego i rozmiarów przekroju poprzecznego pręcika są optymalne przy zastosowaniu zalecanego przyrządu.

Do uzyskania dobrej jakości pokrycia mosiężnego na powierzchni pary hydraulicznej należy wykonać trzy przejścia. Przed każdym przejściem procesu mosiędzowania należy usunąć glicerynę pokrywającą obrabianą powierzchnię i nanieść świeżą warstwę gliceryny za pomocą pędzla.

Po obróbce mosiędzowania należy element pary hydraulicznej dokładnie wymyć w wodzie, przedmuchać do sucha sprężonym powietrzem, przeprowadzić przegląd pokrycia mosiężnego za pomocą lupy o czterokrotnym powiększeniu i nasmarować smarem konserwującym. Widok mosiędzowanych tłoków pompy hydraulicznej pokazano na rys. 3.

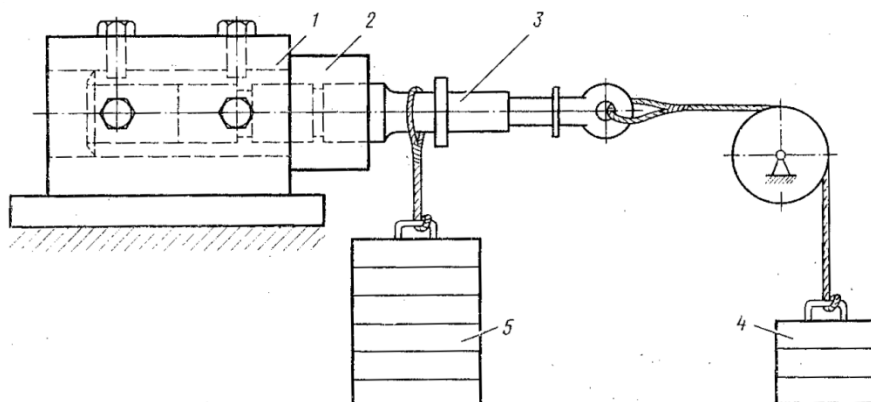


Rys. 3. Mosiądzowane tłoki pompy hydraulicznej

3. Badania laboratoryjne mosiądzowanych tarciowo hydraulicznych par precyzyjnych

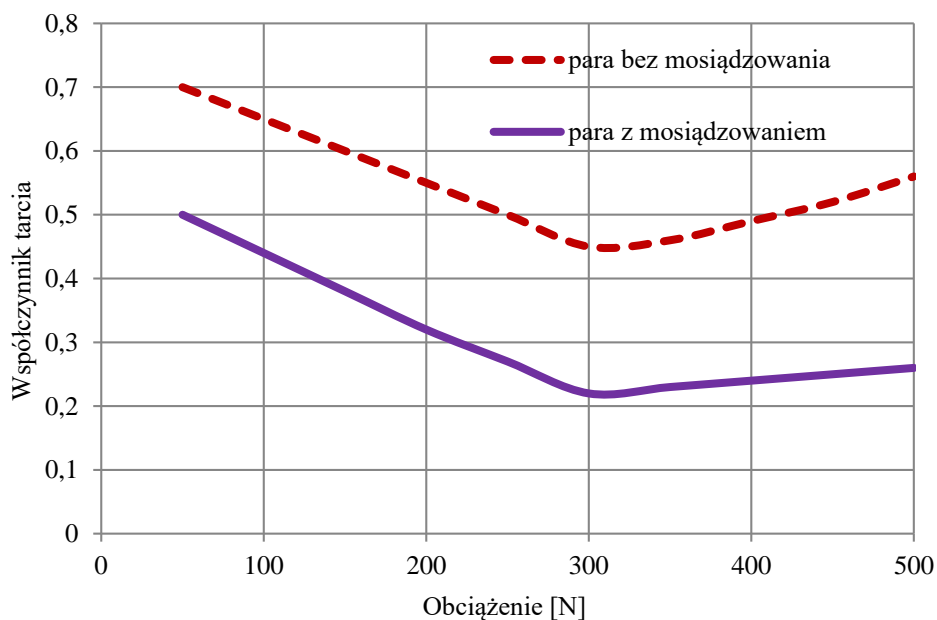
Do określenia efektywności mosiądzowania tarciowego wykonano badania laboratoryjne hydraulicznych par precyzyjnych wykonanych ze stali 30HGSA i 12HN3A obrobionych termicznie na twardość HRC 38–42. Schemat stanowiska laboratoryjnego, na którym wykonywano badania par hydraulicznych przedstawiono na rys. 4.

Najcięższe warunki pracy hydraulicznych par precyzyjnych powstają przy istnieniu sił przekazujących suwak (nurnik) względem tulei. Dlatego podczas badań na stanowisku laboratoryjnym siły przykładano na końcówkę nurnika, co powodowało przekoszenie elementów pary. Obciążenie podczas badań przykładano stopniowo. Przy każdej wartości obciążenia mierzono siłę skierowaną wzdłuż osi nurnika, przesuwającą nurnik względem tulei. W wyniku tego było możliwe uzyskanie zależności współczynników tarcia w parze nurnikowej od wielkości obciążenia. Badano nurniki pary hydraulicznej wykonane ze stali 30HGSA bez mosiądzowania, jak również pary, w których nurnik mosiądzowano metodą tarciową. Wyniki badań przedstawiono na rys. 5.



Rys. 4. Stanowisko do badania mosiądzowanych hydraulicznych par precyzyjnych

- 1) podstawa do zamocowania tulei, 2) tuleja, 3) badany mosiądzowany element pary hydraulicznej, 4) obciążenie pokonujące siłę tarcia w parze hydraulicznej, 5) obciążenie wywołujące przekoszenie elementu pary hydraulicznej



Rys. 5. Zależność współczynników tarcia w parach nurnikowych od przykadanego obciążenia

Z wyników badań laboratoryjnych par nurnikowych wynika, że mosiądzowanie tarciove w zastosowaniu do elementów hydraulicznych par precyzyjnych zmniejsza tarcie o około 30% i podwyższa odporność na zacieranie.

Dla mosiądzowanych tarciowo hydraulicznych par precyzyjnych wykonanych ze stali 30HGSA i 12HN3A obrabionych termicznie na twardość HRC 38–42 najlepsze rezultaty osiągnięto w ośrodku składającym się 50 ml gliceryny i 10 ml aniliny oraz przy prędkości poślizgu 0,1 m/s, posuwie wzdłużnym pręcika mosiężnego 0,08 mm /obr i nacisku 70 MPa.

4. Podsumowanie

Z uzyskanych doświadczeń tarciowego mosiądzowania detali stalowych hydraulicznych par precyzyjnych wynika, że na jakość procesu mosiądzowania wpływają następujące czynniki:

- stopień odtłuszczenia powierzchni mosiądzowanej i całkowitego usunięcia z niej błonki tlenków. Obecność błonek tłuszczu i tlenków na powierzchni elementu pary hydraulicznej nie pozwala uzyskać pokrycia mosiężnego o wysokiej jakości;
- gładkość wyjściowa powierzchni pary hydraulicznej. Gładkość powierzchni pary hydraulicznej wpływa na ścisłość (zwartość) pokrycia mosiężnego;
- wielkość nacisku (ciśnienia) jednostkowego, z którym pręcik mosiężny jest dociskany do powierzchni pary hydraulicznej. Przy niewystarczającej wielkości nacisku jednostkowego obniża się zwartość pokrycia, a przy nadmiernym nacisku możliwe jest utworzenie się pierścieniowych rysek na powierzchni detalu;
- prędkość poślizgu mosiężnego pręcika względem powierzchni pary hydraulicznej. Odchylenie prędkości poślizgu od wartości optymalnej obniża wydajność procesu lub zmniejsza grubość pokrycia;
- wielkość posuwu podłużnego pręcika mosiężnego. Zwiększenie posuwu obniża zwartość pokrycia, a obniżenie posuwu zmniejsza wydajność;
- wielkość bicia obrabianej powierzchni względem linii środków tokarki. Im większe bicie, tym bardziej nierównomierne pod względem grubości uzyskuje się pokrycie mosiężne;
- nawilżanie powierzchni mosiądzowanej gliceryną. Brak na powierzchni pary hydraulicznej warstwy gliceryny przy mosiądzowaniu doprowadza do suchego tarcia i może spowodować uszkodzenie obrabianej powierzchni detalu.

Hydraulicznym parom precyzyjnym, podlegającym tarcioowemu mosiądzowaniu stawiane są następujące wymagania:

- wyjściowa mikro chropowatość powierzchni elementów pary powinna odpowiadać klasie gładkości nie niższej niż 7. Przy bardziej zgrubnej obróbce powierzchni pary hydraulicznej nie ma możliwości uzyskania przy mosiądzowaniu tarciowym zwartego pokrycia mosiężnego;
- bicie mosiądzowanego elementu pary hydraulicznej względem osi kłów tokarki powinno wynosić nie więcej niż 0,1 mm. Bicie w sposób istotny obniża jakość pokrycia mosiężnego, wpływając na równomierność jego grubości, zwartość i gładkość powierzchni;

- przed mosiądżowaniem powierzchnia pary hydraulicznej powinna być odtłuszczone. W tym celu należy powierzchnię przemyć w benzynie B-70 i wysuszyć;
- jeżeli mosiądżowana para hydrauliczna ma promieniowe otwory lub pierścieniowe wytoczenia, to średnica pręcika mosiężnego powinna być większa od średnicy otworów i szerokości wytoczeń.

5. Literatura

1. Bulgarevich S.B., Boiko M.V., Feizova V.A., Akimova E.E.: Effect of pressure on chemical reactions in the zone of direct friction contact of systems with selective transfer. *J. Frict. Wear*, Vol. 32, 2011.
2. Garkunov D.N.: Past and future selective transfer in friction, *Materials of the International Conference BALTRIB'99*, 21-22 September, Lithuanian University of Agriculture, Kaunas 1999.
3. Garkunov D.N.: Scientific discoveries in tribo technologies. In *No-Wear Effect under Friction: Hydrogen Wear of Metals*. MAA Publishing House, Moscow 2007.
4. Hao-Wei Wang, Ke-Nan Teng: Residual life prediction for highly reliable products with prior accelerated degradation data. *Maintenance and Reliability*, Vol. 18(3), 2016.
5. Klarecki K., Rabsztyń D., Hetmańczyk M.P.: Influence of the controller settings on the behaviour of the hydraulic servo drive. *Mechatronics - Ideas for Industrial Application. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 317, 2015.
6. Laber A., Adamczuk K.: Badania własności tribologicznych brązu CuSn12Ni2 w obecności preparatu eksploatacyjnego o działaniu chemicznym. *Tribologia*, Vol. 5, 2009.
7. Laber A.: Modyfikowanie warunków pracy węzła tarcia olejami z dodatkami eksploatacyjnymi na bazie środków smarnych stałych. *Tribologia*, Vol. 5, 2011.
8. Laber S., Adamczuk K.: Właściwości tribologiczne węzła tarcia z wykorzystaniem wybranych gatunków brązów. *Tribologia*, Vol. 6, 2010.
9. Liu G., Li X., Qin B., Xing D., Guo D., Fan D.: Investigation of the mending effect and mechanism of copper nano-particles on a tribologically stressed surface. *Tribol. Lett.*, Vol. 17, 2004.
10. Ohtsu I., Yasuda Y., Gotom, H.: Wear and tribological test equipment hydraulic components. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 39 (2), 2001.
11. Padgurskas J., Rukuiza R., Prosycevas I., Kreivaitis R.: Tribological properties of lubricant additives of Fe, Cu and Co nanoparticles. *Tribol. Int.*, Vol. 60, 2013.
12. Pilkington G.A., Briscoe W.H.: Nanofluids mediating surface forces. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2012.
13. Scherge M., Martin J.M., Pöhlmann K.: Characterization of wear debris of systems operated under low wear-rate conditions. *Wear*, Vol. 260, 2006.

14. Scherge M., Linsler D., Schlarb T.: The running-in corridor of lubricated metal-metal contacts. *Wear*, Vol. 342, 2015.
15. Zhou J., Wu Z., Zhang Z., Liu W., Xue Q.: Tribological behavior and lubricating mechanism of Cu nanoparticles in oil. *Tribol. Lett.*, Vol. 8, 2000.
16. Zhang M., Wang X., Liu W., Fu X.: Performance and anti-wear mechanism of Cu nanoparticles as lubricating oil additives. *Ind. Lubr. Tribol.*, Vol. 61, 2009.
17. Yu H., Shi P., Xu B., Wang X., Liu Q.: Tribological properties and lubricating mechanisms of Cu nanoparticles in lubricant. *Trans. Nonferr. Met. Soc. China*, Vol. 18, 2008.
18. Yu H., Xu Y., Shi P., Xu B., Wang X., Liu Q., Wang H.: Characterization and nano-mechanical properties of tribofilms using Cu nanoparticles as additives. *Surf. Coat. Technol.*, Vol. 203, 2008.
19. Yang G., Chai S., Xiong X., Zhang S., Yu L., Zhang P.: Preparation and tribological properties of surface modified Cu nanoparticles. *Trans. Nonferr. Met. Soc. China*, Vol. 22, 2012.