

Władysław Czupryk*, Jerzy Kobryn

Katedra Aparatury i Inżynierii Procesowej, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

Andrzej Grzeszczak, Janusz Bęben,

Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Wrocławski

OCENA WPLYWU OBRÓBKII MECHANICZNEJ NA STAN WARSTWY WIERZCHNIEJ ELEMENTÓW PAR ŚLIZGOWYCH METODĄ AES

Streszczenie: Klasyczna para ślizgowa typu wał–panewka wykonywana jest poprzez różnego rodzaju obróbkę mechaniczną. Powierzchnia wału jest szlifowana a powierzchnia panewki – wytaczana. Kontakt odpowiednich narzędzi, ściernicy przy szlifowaniu wału i noża tokarskiego przy wytaczaniu tulei, skutkuje zmianami wykonywanych powierzchni. Powoduje zmianę ich kształtu, chropowatości, zmienia strukturę w warstwach podpowierzchniowych, jest przyczyną występowania lokalnych spięrzeń temperatury, wpływających na powstanie i przebieg reakcji tribochemicznych. Zmiany te mogą mieć zasadniczy wpływ na pierwszy okres pracy węzła ślizgowego, okres docierania, podczas którego obserwuje się dużą intensywność zużywania. Badania z użyciem spektrometrii AES pozwoliły uzyskać informacje o stanie początkowym warstw powierzchniowych elementów węzła tarcia. Na podstawie tych informacji będzie też możliwe optymalizowanie parametrów obróbki mechanicznej, tak aby zużywanie w pierwszym okresie tarcia było jak najmniejsze.

Słowa kluczowe: węzeł ślizgowy, obróbka mechaniczna, warstwy wierzchnie, spektrometria AES.

1. Wstęp

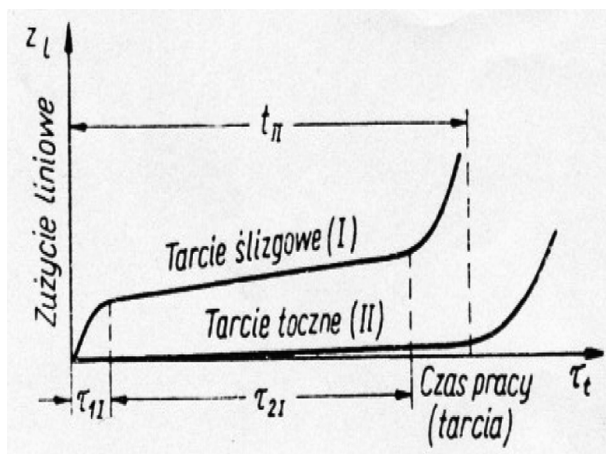
Zmiany charakteru intensywności zużywania elementów pary ślizgowej w trzech okresach tarcia ilustruje krzywa Lorenca (rys. 1, [1]).

Jak wynika z przebiegu krzywej Lorenca dla tarcia ślizgowego początkowy okres pracy węzła tarcia charakteryzuje się zwiększonym zużywaniem się elementów współpracujących w tarcu.

Proces docierania, tj. tworzenia warstw wierzchnich właściwych dla okresu pracy ustabilizowanej, charakteryzuje się dużą złożonością zjawisk zachodzących jednocześnie. Ma miejsce zmiana topografii powierzchni, zmienia się jej chropo-

* Adres do korespondencji: wladyslaw.czupryk@ue.wroc.pl.

watość, następuje zgniot w warstwach powierzchniowych, co skutkuje silnym rozdrobnieniem struktury, występują lokalne spiętrzenia wysokiej temperatury inicjujące i utrzymujące przebieg reakcji tribochemicznych, ma miejsce wtórne oddziaływanie produktów zużycia, głównie tlenkowych itd. Znaczna ilość, połączona z dużą złożonością oddziaływań, zjawisk występujących w okresie docierania skutkuje znaczną intensywnością zużycia na tym etapie procesu tarcia.



τ_{11} – okres docierania przy tarcii ślizgowym; τ_{21} – okres normalnego zużycia; t_{II} – okres zużycia do pojawienia się pierwszych śladów zmęczenia powierzchni przy tarcii tocznym

Rys. 1. Krzywa Lorenca dla typowych przebiegów zużycia par roboczych: [1]

Duże zużycie w tym okresie rzutuje bezpośrednio na zużycie łączne po kolejnych okresach pracy węzła tarcia.

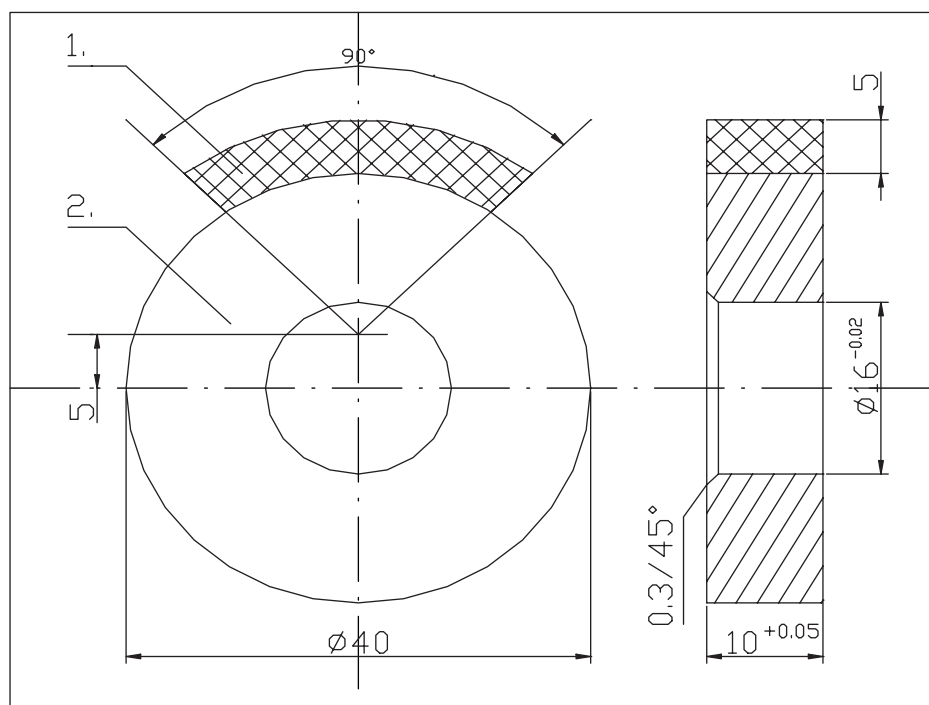
Zatem zmniejszenie zużycia na tym etapie procesu tarcia jest jak najbardziej celowe, a można to osiągnąć przez optymalizację parametrów obróbki mechanicznej.

Znajomość stanu warstw wierzchnich, jaki wywołuje obróbka mechaniczna stosowana zazwyczaj przy wykonaniu elementów węzłów ślizgowych, może być podstawą do dalszego wnioskowania dotyczącego doboru parametrów procesu obróbki mechanicznej.

2. Materiały i metodyka badań

Przedmiotem badań były elementy klasycznej, modelowej pary ślizgowej przeznaczonej do badań na maszynie Amslera zgodnie z normą PN 82/H-04332 [2].

Wycinek panewki został wykonany z miedzi przez wytaczanie tulei, a wał – krążek wykonano ze stali 55 hartowanej i nisko odpuszczanej. Powierzchnię krążka szlifowano (rys. 2).



Rys. 2. Schemat układu badawczego: 1 – próbka, 2 – przeciwpróbka

Źródło: [według normy PN 82/H-04332].

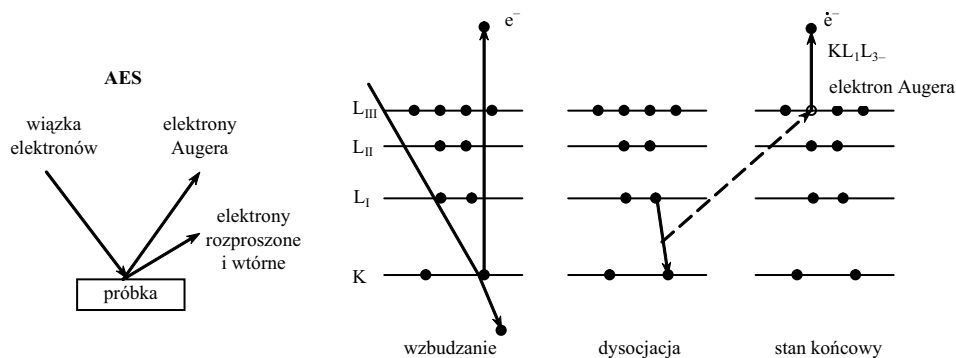
Wyboru techniki badawczej dokonano pod kątem możliwości prowadzenia badań cienkich warstw powierzchniowych, gdzie zlokalizowane są skutki obróbki mechanicznej. Autorzy opracowania [3] szeroko omawiają instrumentalne techniki badawcze stosowane współcześnie do badań obiektów cienkich i małych o wymiarach rzędu nanometrów. Uważają oni, że badania zmian w warstwach wierzchnich nie można zrealizować bez użycia nowszych instrumentalnych technik badawczych.

Z przeglądu publikacji, głównie z lat 1980-2000 wynika, że metodą najczęściej wykorzystywaną w badaniach warstw wierzchnich jest spektrometria elektronów wtórnych Augera (AES) [4-10].

Spektrometria AES jest obecnie często stosowana w badaniach z zakresu problematyki tribologicznej, przede wszystkim do określania składu chemicznego warstewek powierzchniowych tworzących się w tarciu i warstewek leżących głębiej. Metoda ta pozwala też badać własności sorpcyjne powierzchni metalowych, dostarcza informacji o rodzaju wiązań atomowych. Teoretycznie metoda AES pozwala na wykrycie domieszek o stężeniach rzędu 10^{14} atomów/m². W praktyce osiąga się

mniejsze czułości. Głębokość wychodzenia elektronów Augera wynosi od 3 do 30 Å w zależności od ich energii (100-2000 eV) [11].

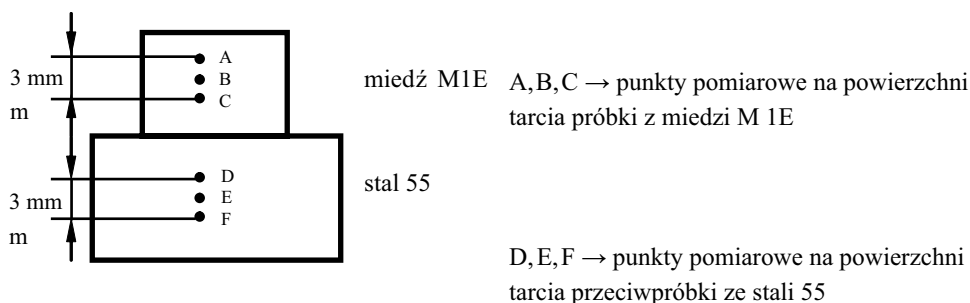
Schemat ideowy spektrometrii AES przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat ideowy spektrometrii AES

Źródło: [7].

Powierzchnie robocze próbki oraz przeciwpróbki przed zainstalowaniem w spektrometrze elektronów wtórnych Augera były poddawane odtłuszczeniu poprzez mycie ich w benzynie ekstrakcyjnej i acetonie, następnie po odtłuszczeniu poddane zostały kąpieli ultradźwiękowej, mającej na celu usunięcie z powierzchni roboczej pary trącej związków węgla zaabsorbowanych z otoczenia.



Rys. 4. Układ próbek do badań metodą AES

Badania powierzchniowe przeprowadzone były w punktach A, B, C dla próbek oraz D, E, F dla przeciwpróbek. Bombardowano je wiązką elektronów o energii 1500 eV i średnicy wiązki elektronów około 0,2 mm. W ramach tych badań analizowano warstwy o grubości około 15-20 Å. Wiązka elektronów padała pod kątem prostym na badane próbki w zaznaczonych miejscach. W ten sposób określono skład

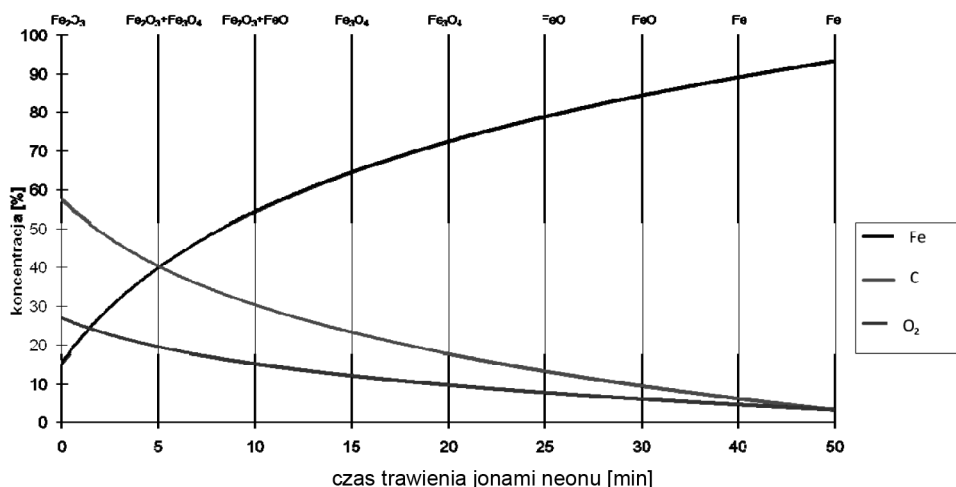
powierzchniowy każdej z próbek miedzianych w trzech miejscach odległych od siebie o 1,5 mm oraz odpowiadającą im przeciwpróbką ze stali także w zaznaczonych trzech miejscach odległych od siebie o 1,5 mm.

Badania wglębne wykonane były również dla tych samych próbek. Powierzchnie każdej próbki i przeciwpróbki bombardowano w miejscach B i E jonami neonu o energii 2500 eV. Natężenie prądu jonów neonu wynosiło 1 μA , a średnica wiązki około 1 mm przy kącie padania zbliżonym do prostopadłego. Przy takiej energii (2500 eV) wiązki jonów neonu średnia głębokość penetracji podłoża, którą przebywa około 50% jonów bombardujących, wynosi około 48 \AA , z wybijaniem (usuwanym) 3,6 atomów z warstwy wglębnej przypadającej na 1 jon bombardującego neonu z jednostkowej powierzchni w jednostkowym czasie. A zatem średnia głębokość usuwania warstw jest wprost proporcjonalna do całki z czasu bombardowania. Średnia grubość warstwy usuwanej przy zdejmowaniu profili głębokościowych wynosi 0,25 nm/min.

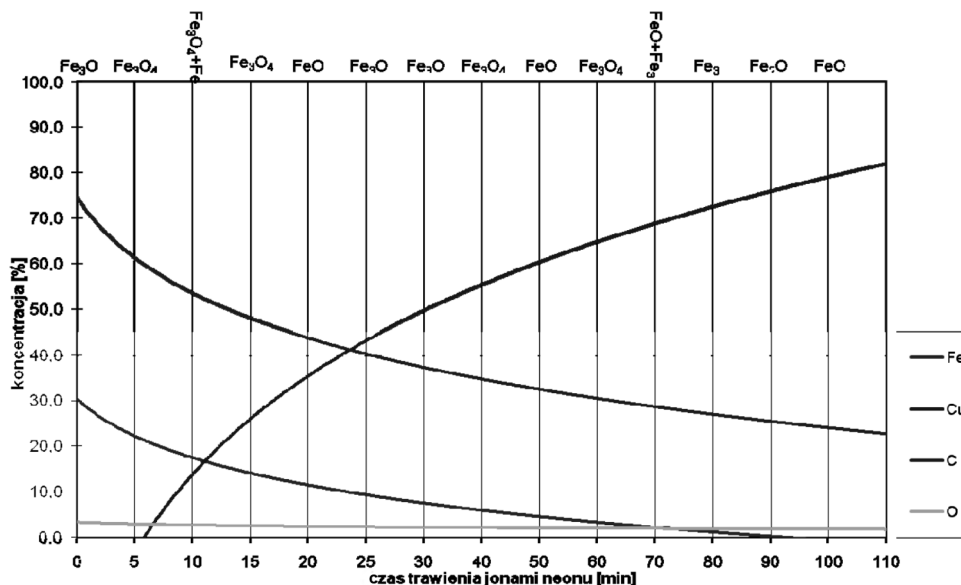
3. Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki badań przedstawiono graficznie na wykresach (rys. 5 i 6).

Badania ujawniły dużą złożoność składu warstw powierzchniowych zarówno na stali, jak i na miedzi. Mechaniczna obróbka finalna stali – szlifowanie, wywołując zgniot, lokalnie występującą wysoką temperaturę w obecności tlenu z powietrza atmosferycznego inicjuje i intensyfikuje reakcje tribochemiczne zlokalizowane w warstwach powierzchniowych.



Rys. 5. Przewidziona – stal



Rys. 6. Próbkę – miedź

Analiza AES ujawniła występowanie w tych warstwach związków żelaza z tlenem o różnych udziałach tych pierwiastków w zależności od głębokości badanej warstwy. Na powierzchni stwierdzono obecność tlenku żelaza Fe_2O_3 , w kolejnych warstwach występuje mieszanina związków $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4$, a w głębiej leżących warstwach występuje wyłącznie tlenek Fe_3O_4 . W najgłębiej zlokalizowanych warstwach ujawniono obecność tlenku FeO , a w kolejnych czystego żelaza. Związek FeO w odróżnieniu od tlenków Fe_2O_3 i Fe_3O_4 o stechiometrycznym składzie jest roztworem pustowęzłowym tlenu w żelazie.

Tak zbudowana warstwa wierzchnia stali uczestniczy w początkowym okresie tarcia, w okresie docierania, co oznacza, że w tarcu z elementem miękkim, w tym przypadku miedzią, uczestniczyć będzie bezpośrednio nie warstwa stalowa, lecz warstewka tlenkowa o złożonym składzie.

Tlenkowe produkty zużycia takiej warstwy, a w szczególności tlenek Fe_2O_3 może – wtórnie oddziałując – wywoływać zwiększone zużywanie w tym okresie tarcia.

Przeciwpróbki miedziane, będące fragmentem panewki w parze modelowej, wycinano z tulei uzyskanej przez wytaczanie powierzchni wewnętrznej nożem ze stali szybko tnącej. Analiza AES dała wysoce interesujące wyniki. Okazało się, że w cienkiej warstewce powierzchniowej elementu z miedzi ten pierwiastek nie występuje. Warstewka ta zbudowana jest wyłącznie z tlenku Fe_3O_4 . Miedź pojawia się w warstwie głębiej zlokalizowanej (po około 7 minutach trawienia jonami neonu) i jej ilość w kolejnych głębiej leżących warstwach gwałtownie rośnie, przy jednoczesnym zmniejszeniu się w analizowanych warstwach zawartości związków żelaza z tlenem.

Warstwa wierzchnia na miedzi, gdzie zidentyfikowano obecność różnych tlenków żelaza, jest dwukrotnie grubsza od podobnej warstwy na stali.

Jak wynika z rysunku 6, w warstwach leżących głębiej pod tlenkową warstewką powierzchniową występuje mieszanina miedzi i tlenków żelaza o różnych składach w zależności od głębokości położenia analizowanej warstwy. Najgłębiej zlokalizowana jest warstwa bogata w miedź z występującymi w niej tlenkami FeO, często z niedoborem tlenu, np. Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , co wynika z typowej budowy roztworu pustowężłowego. Cechą wspólną warstw powierzchniowych zarówno stali, jak i na miedzi jest malejąca zawartość węgla, począwszy od powierzchni aż do warstw najgłębiej zlokalizowanych.

4. Podsumowanie

Obróbka mechaniczna elementów modelowej pary ślizgowej w układzie wycinek panewki (miedź) – krążek (stal 55 ulepszana cieplnie) wywołuje fundamentalną przebudowę warstw wierzchnich poddawanych w dalszym postępowaniu tarcia ślizgowemu według PN.

W początkowym okresie tarcia kontaktują się warstewki tlenkowe na obu elementach, a nie materiały rodzime, z jakich te elementy są wykonane. Związek pomiędzy parametrami obróbki mechanicznej i składem warstw wierzchnich na obu elementach ze zużyciem tribologicznym może być podstawą do optymalizacji parametrów obróbki przy wykonawstwie elementów pary modelowej. Warstwa, w której badania ujawniły obecność tlenków żelaza, jest na miedzi dwukrotnie grubsza od podobnej warstwy występującej na stali.

Wspólną cechą warstw powierzchniowych na elementach wykonanych z diametralnie różnych materiałów, miedzi i stali, jest występowanie w warstwach najgłębiej zlokalizowanych, sąsiadujących z materiałem rodzimym, elementów tlenku typu FeO, będących roztworem pustowężłowym tlenu w żelazie. Niezwykle interesująca wydaje się warstewka powierzchniowa na miedzi, składająca się wyłącznie z tlenku żelaza Fe_3O_4 , miedź występuje w warstwach pod nią zlokalizowanych.

Znajomość budowy warstw wierzchnich elementów ślizgowej pary modelowej do badań według PN na maszynie Amslera może się stać przyczynkiem do wyjaśnienia zwiększonego zużycia tribologicznego w początkowym okresie pracy wężła ślizgowego, w okresie docierania.

Literatura

- [1] Janecki J., Hebda M., *Tarcie, smarowanie i zużycie części maszyn*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1969.
- [2] Polska Norma PN – 82/H – 04332
- [3] Pogosjan A.K., Oganiesjan K.V., *Javlenie frikcionnogo perenosy i osnovnyje ekonomernosti i metody issledovaniya*, *Trenie i iznos* 1986, 7 (6).

- [4] Janecki H.P., Janecka M., *Zastosowanie instrumentalnych metod analitycznych w badaniach tribologicznych*, Krajowe Sympozjum Eksploatacji Urządzeń Technicznych, Radom, Tribologia 1993, 4, 5, Kozubnik 1993.
- [5] Kostecki B.I., *Trenie, smazka i iznos v masinach*, Izdatelstwo Technika, Kiev 1970.
- [6] Kostecki B.I., *The structural – energetic concept in the theory of friction and wear*, Wear 1992, 159.
- [7] Krause H., Schroelkamp Ch., *Investigations into the reaction of metallic bodies in tribological systems*, Wear 1982, 81.
- [8] Lin T., Rhee S.K., Lawson K.L., A study of wear rates and transfer films of friction materials, Wear 1980, 60.
- [9] Mathieu H.J., Landolt D., *The application of Auger Elektron Spectroscopy to the study of wear surfaces*, Wear 1981, 66.
- [10] Waligóra W., Kolaf D., *Zastosowanie spektrometrii elektronów Augera do badań własności sorpcyjnych stali łożyskowych*, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn 1988, 73.
- [11] Tompkins F.C. *Chemisorpcja gazów na metalach*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1985.

THE ASSESSMENT OF THE EFFECT OF MECHANICAL WORKING ON THE CONDITION OF THE SURFACE LAYERS OF SLIDING PAIR COMPONENTS

Summary: The paper presents studies of the surface layers of standard sliding pair components used for investigating friction in the Amsler testing machine, by means of Auger electron spectroscopy. The results of the studies showed a high iron oxide content in the components made of copper and steel. This means that in the initial period of friction it is not the materials from which the bearing shell segment (block) and the shaft (steel roller) are made that are in contact, but the layers containing mainly compounds of iron and oxygen. This finding can be the basis for mechanical working optimization aimed at reducing wear in the running-in period.

Keywords: sliding pair, mechanical working, surface layers, electron spectroscopy AES.