

# Właściwości kompozytowych powłok zawierających twarde cząstki

dr inż. Ireneusz Derek

W artykule przedstawiono rezultaty badań tribologicznych, których celem było określenie wpływu obecności twardych cząstek w powłokach kompozytowych na wybrane charakterystyki tribologiczne. Stwierdzono, że zarówno sama obecność twardych cząstek w powłokach jak również ich wymiary w istotny sposób wpływają na charakterystyki tribologiczne współpracujących powierzchni z powłokami

## Wprowadzenie

Obróbki powierzchniowe od lat cieszą się dużym zainteresowaniem, dlatego też można zaobserwować szybki ich rozwój. Obróbki takie stwarzają możliwość uzyskania odmiennych właściwości w obszarze jednego materiału, np. twardej odpornej na ścieranie powierzchni przy zachowaniu plastycznego rdzenia lub dowolnym zestawieniu tych lub innych właściwości wykluczających się przy materiale jednolitym.

Elementy mechanizmów maszyn; szczególnie silnie obciążone i narażone na zużycie, powinny być po obróbce dokładnie poddawane obróbce wykończeniowej (powierzchniowej). Stosując różne sposoby obróbki powierzchniowej, można zwiększyć odporność ele-

mentów maszyn na: zużycie będące skutkiem tarcia (ślizgowego lub tocznego), obciążeń udarowych, obciążeń cieplnych, korozji atmosferycznej, korozji w wysokiej temperaturze, korozji chemicznej, erozji. Obróbki te można również wykorzystać do poprawy warunków dla przepływu płynów.

Konstrukcja elementu i technologia jego warstwy wierzchniej mają również wpływ na inne właściwości użytkowe, jak: trwałość pasowania, wytrzymałość połączeń spawanych, zdolność do tłumienia drgań, szczelność połączeń itp. Ustalając wymagania konstrukcyjno-eksploatacyjne należy uwzględnić to, że każdy ze sposobów obróbki powierzchniowej może wpłynąć jednocześnie na zmianę kilku cech użytkowych elementu.

## Powłoki jako czynnik zwiększający odporność na zużycie

Jak wykazały badania spośród wielu rodzajów powłok dobrą odpornością na zużycie cechują się heterogeniczne powłoki zawierające cząstki twarde [1-3].

W charakterze napełniacza w kompozytowych elektrolitycznych powłokach często używa się ultradispersyjny węglowy kondensat (UDWK), syntezowany z odpowiedniej substancji przy koncentracji w niej węgla kondensowanego w ilości od 8 do 15% mas. Przytoczone wielofazowe proszki UDWK składają się z węglików, grafitu, węgla amorficznego – reszta to faza diamentowa. Uformowane w nierównowagowych warunkach proszki UDWK cech-



ują się dobrą przenikalnością w roztworach wodnych, mogą zwiększać parametry tarcia trących się powierzchni odgrywając rolę stałego środka smarnego. Powłoki niklowe typu Ni-B utworzone w wyniku elektrolizy często używano do regeneracji stalowych iglic w pompach wtryskowych silników Diesla starego typu, która odznaczała się przede wszystkim małymi kosztami regeneracji.

### Badania eksperymentalne

W niniejszej pracy przedstawiono rezultaty badań technologicznych, w których badanymi czynnikami były: skład elektrolitu, zawartość w nim cząstek, warunki elektrolizy i procesu mieszania elektrolitu na strukturę. Określano wpływ tych czynników na odporność na zużywanie i odporność przeciwkorozyjną niklowych powłok,

zawierających bor i węgiel. Badano kompozytowe elektrolityczne powłoki (KEP) na osnowie metali grupy żelaza, w których wtrącenia (w % mas.) według danych analizy chemicznej wynoszą 23,5% amorficznego boru i do 1% UDWK.

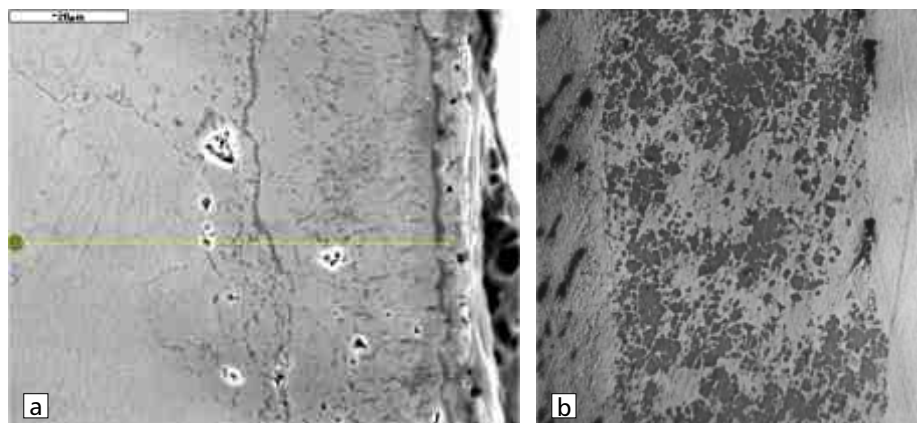
Powłoki KEP na osnowie niklu poddawane były obróbce cieplnej w próżni przy 600°C. Przy tym, w wyniku reakcji niklu z dyspergowanym w borem amorficznym powstawały dyspersyjne wtrącenia borkowe na przemian z ultra dyspersyjnymi cząstkami UDWK w niklowej matrycy KEP. Fotografie powierzchni tarcia przed i po obróbce cieplnej ukazano na rys.1.

Badania tarcia i zużywania przeprowadzono na testerze T-05 według schematu „rolka-klocek”. W czasie tarcia ślizgowego klocek ze stali C45, na które nanoszono kompozytowe powłoki były nieruchome, zaś przeciwpróbka z zahartowanej stali 45 (twardość 4852 HRC) obracała się częściowo zanurzona w wodzie oraz w 5% roztworze kwasu solnego.

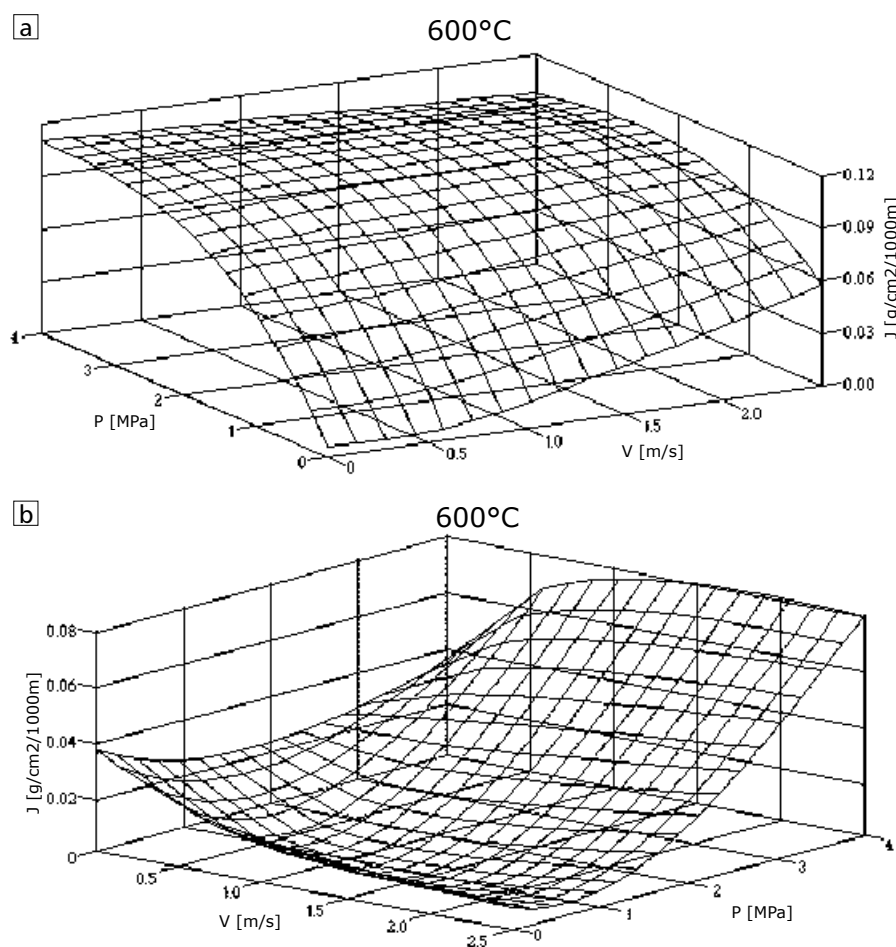
Przeprowadzono aproksymację wyników eksperymentu uwzględniając takie parametry jak intensywność zużywania, prędkość i obciążenie. Uzyskane rezultaty tych działań przedstawiono na rys.2.

Tribotechniczne charakterystyki otrzymanych heterogenicznych powłok ze strukturą nanodispersyjną na osnowie niklu zwiększały się 10 razy bardziej niż czystego niklu.

Należy również zauważyć, że w roztworach wodnych niklowe KEP, zawierające w charakterze napełniacza bor i/lub nanofazowe wtrącenia UDWK, w roztworze kwasu solnego były na katodzie względem stalowej osnowy, dlatego też ich funkcja ochronna spełnia swoje zadanie pod warunkiem ciągłości powłoki, co jest charakterystyczne dla powłok typu Ni-B-UDWK po wyżarzaniu w próżni przy 600°C. Brak takiej obróbki cieplnej, z wprowadzeniem tylko cząstek UDWK, zwiększa odporność na zużywanie niklowych KEP 1,8÷24 raza. Stosując wspomnianą obróbkę cieplną tych powłok można zwiększyć odporność na zużywanie 6,4÷13,5 razy, w zależności od prędkości tarcia.



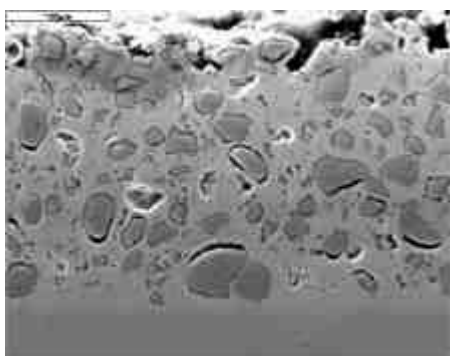
Rys. 1. Powierzchnie KEP typu Ni-B-C: a) przed obróbką cieplną, b) po obróbce w 600°C



Rys. 2. Uzyskane w badaniach relacje między badanymi wielkościami: a) dla powłoki typu Ni-B-UDWK, b) dla powłoki typu Ni-B-C

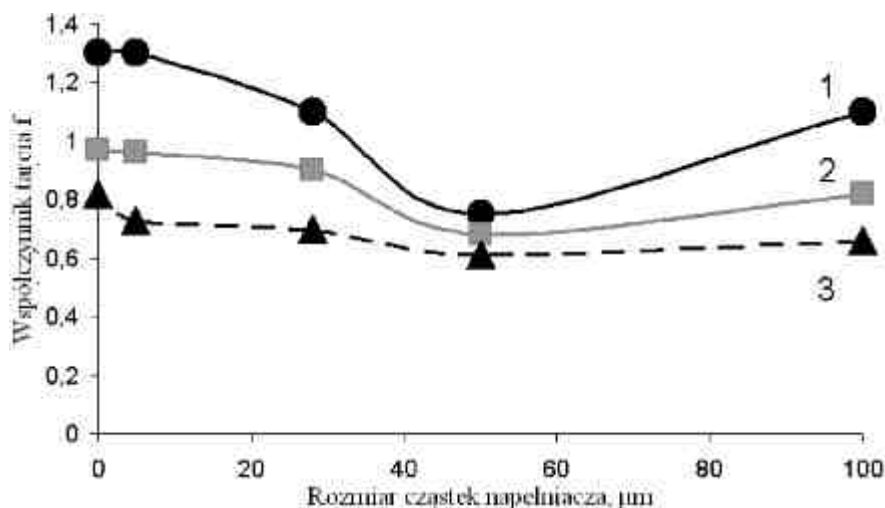
Trzeba zauważyć, że budowa gradientowa KEP ma wpływ na uzyskiwanie właściwości tribotechnicznych takich galwano-proszkowych kompozytów.

Przedział pracy kompozytowych powłok typu Ni-B-UDWK oscylował wokół 115 MPa, a dalsze zwiększanie obciążenia względnego powodowało, że intensywność zużycia znacznie zwiększała się. Największe wartości intensywności zużycia i mała odporność na zużycie zauważalna była dla powłok typu Ni-B-C – rys. 3.



Rys.3. KEP typu Ni-B-C osadzona na stali C45

Największą trwałość mają współpracujące powierzchnie z powłokami z wtrąceniami o dużych wymiarach cząstek, co może być spowodowane obciążeniem, jakie twarde cząstki przejmują na siebie. Obciążenia twarde cząstki dorównują rzeczywistemu dociskowi w strefie kontaktu, kiedy ich wymiary są mniejsze lub proporcjonalne do wartości strefy kontaktu. Należy oczekiwać, że wartości obciążenia na twarde cząstkach w strefie przejściowej między osnową-podłożem a powłoką osadzoną na nim, będą osiągały wartości średnie. Analiza makro- i mikrostruktur powierzchni tarcia KEP pozwala wnioskować, że względna powierzchnia styku kompozytu zmniejsza się ze zwiększaniem wymiaru cząstek napelnacza. Dla kompozytów, zawierających cząstki o frakcjach mniejszych niż 5  $\mu\text{m}$ , mniejszych od jednostkowych obszarów kontaktu, podstawowy wkład w trwałość wnosi niklowa osnowa. Na powierzchni takich powłok zauważalne są ślady odkształceń plastycznych. Na powierzchniach tarcia KEP, zawierających napelniacz o dużej frakcji, gdy stosunek jednostkowych obszarów kontaktu i obszarów wtrą-



Rys. 4. Zależność współczynnika tarcia  $\mu$  od rozmiaru cząstek napelnacza KEP: 1 – obciążenie 80 N; 2 – obciążenie 50 N; 3 – obciążenie 30 N

cenia twardego odzwierciedla względną powierzchnię styku, widoczne są ślady zużycia ściernego przez swobodne cząstki napelnacza lub cząstki nalepione na powierzchni przeciwpróbki.

Dla kompozytów z optymalnymi rozmiarami cząstek zauważalny jest brak niekorzystnych procesów zacierania, zużycia ściernego i pękania, zaś miejsce ma typowy mechaniczno-utleniający proces zużycia.

Oprócz trwałości, ważnym tribotechnicznym parametrem jest współczynnik tarcia  $\mu$ . Analiza wyników badań pokazała, że na wartość współczynnika tarcia znacznie wpływa obciążenie w czasie tarcia oraz rozmiar cząstek napelnacza – rys. 4. Stwierdzono, że ze zwiększaniem obciążenia na próbkę, współczynnik tarcia zmniejsza się. Fakt ten można wyjaśnić tym, że podczas zwiększania obciążenia normalnego  $N$  siła tarcia  $F$  tylko nieznacznie zwiększa się, co powoduje, że wartość obliczona z zależności  $\mu = F/N$  zmniejsza się.

W związku z powyższym, wymiar cząstek napelnacza ma znaczny wpływ na tribotechniczne charakterystyki KEP oraz na trwałość i współczynnik tarcia współpracujących powierzchni. Ustalono, że największą odporność na zużycie i najmniejszy współczynnik tarcia cechują powłoki, zawierające w charakterze napelnacza proszki o frakcji około 30  $\mu\text{m}$ . Jednak ilość napelnacza w badanych powłokach była różna,

dlatego tak ważnym było zwiększenie uwagi na wpływ zawartości napelnacza na odporność przeciwzużyciową i trwałość KEP.

## Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zarówno sama obecność w powłokach kompozytowych twarde cząstki, jak również ich wymiary w istotny sposób wpływają na charakterystyki tribologiczne współpracujących powierzchni.

Ze względu na to, że sposób nanoszenia powłok ma także wpływ na tribologiczne cechy badanych powierzchni, duże znaczenie ma poznanie relacji między parametrami technologicznymi nanoszenia powłok, a użytkowymi własnościami elementów z naniesionymi powłokami.

## Literatura

1. Mitura S.: Nanodiam. New technologies for medical applications: studying and production of carbon surfaces allowing for controllable bioactivity. PWN, Warszawa 2006.
2. Pierson, H.O.: Handbook of Chemical Vapor Deposition. Principles, Technology and Applications, 2nd Edition. Elsevier 1999.
3. Mattox D. M.: Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing, 2nd Edition, Elsevier 2010. ■