

**Tomasz KMITA** \*

## **WŁAŚCIWOŚCI WARSTW TLENKOWYCH $Al_2O_3$ OTRZYMYWANYCH METODĄ ANODOWANIA IMPULSOWEGO**

### **PROPERTIES OF OXIDE LAYER $Al_2O_3$ FABRICATED BY A PULSED ANODIZING METHOD**

#### **Słowa kluczowe:**

właściwości tribologiczne, warstwa tlenkowa  $Al_2O_3$ , tworzywo sztuczne, anodowanie impulsowe

#### **Key words:**

tribological properties, oxide layer  $Al_2O_3$ , plastics, pulsed anodizing

#### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono właściwości tribologiczne tlenkowych warstw powierzchniowych  $Al_2O_3$  na stopie aluminium EN-AW5251 otrzymywanych metodą anodowania impulsowego. Proces anodowania impulsowego prowadzono, stosując prostokątne przebiegi prądu o zmiennej częstotliwości ( $200 \pm 0,02$  Hz) oraz zmiennym wypełnieniu impulsu ( $100 \pm 40\%$ ). Badania tribologiczne wytworzonych impulsowo warstw  $Al_2O_3$  prowadzono w skojarzeniu ślizgowym bezsmarowym z tworzywem PEEK/BG.

---

\* Uniwersytet Śląski, Katedra Materiałoznawstwa, 41-200 Sosnowiec, ul. Śnieżna 2.

Testy tribologiczne prowadzono w ruchu posuwisto-zwrotnym na stanowisku badawczym T-17 (węzeł trzpień–płytką). Uzyskane wyniki badań wskazują, iż zastosowanie metody impulsowej o prostokątnym przebiegu prądu podczas anodowania stopu aluminium pozwala na korzystną modyfikację właściwości tribologicznych tlenkowych warstw powierzchniowych  $Al_2O_3$  współpracujących ślizgowo z polimerami niskotarciowymi.

## WPROWADZENIE

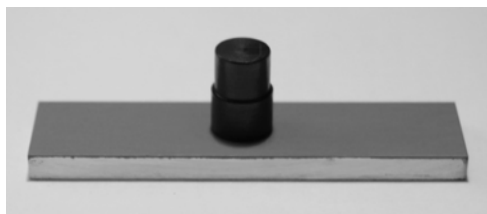
Jednym ze stosowanych rozwiązań zapewniających wysoką trwałość eksploatacyjną węzłów kinematycznych maszyn bezsmarowych jest zastosowanie par ślizgowych polimer–warstwa tlenkowa  $Al_2O_3$  na aluminium [L. 1–2]. Właściwości tribologiczne tlenkowych warstw powierzchniowych  $Al_2O_3$  otrzymywanych elektrochemicznie na stopach aluminium można kształtować poprzez zmianę warunków procesu anodowania, takich jak: skład, pH i temperatura elektrolitu, czas procesu oraz anodowa gęstość prądu [L. 3–5].

Modyfikację właściwości warstw  $Al_2O_3$  uzyskiwanych elektrochemicznie umożliwia również zmiana kształtu prądu anodowego, szczególnie zastosowanie metody impulsowej o prostokątnych przebiegach prądu. Zastosowanie metody impulsowej do elektrochemicznego wytwarzania warstw tlenkowych na aluminium poszerza klasyczny wachlarz narzędzi do kształtowania właściwości warstw powierzchniowych  $Al_2O_3$  o możliwość regulacji częstotliwości oraz stopnia wypełnienia impulsu prostokątnego [L. 6–9].

Celem prezentowanej pracy jest ocena wpływu ww. parametrów prądu impulsowego na właściwości tribologiczne tlenkowych warstw powierzchniowych  $Al_2O_3$  współpracujących ślizgowo bezsmarowo z tworzywem polimerowym PEEK/BG.

## APARATURA I METODYKA BADAŃ

Badania tribologiczne realizowano na stanowisku badawczym T-17, w skojarzeniu ślizgowym bezsmarowym trzpień–płytką w ruchu posuwisto zwrotnym (Rys. 1).



**Rys. 1. Skojarzenie tworzywo PEEK/BG–warstwa tlenkowa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na stopie aluminium EN AW-5251**

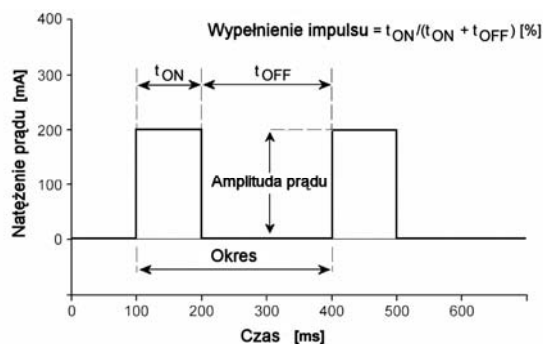
Fig. 1. A couple: PEEK/BG–oxide layer  $\text{Al}_2\text{O}_3$  on the EN AW-5251 aluminium alloy

Trzpień o średnicy 9 mm stanowiło niskościeralne tworzywo PEEK/BG (polieteroeteroketon z napełniaczami w postaci grafitu, drobin PTFE oraz włókien węglowych). Przeciwwórką w badaniach tribologicznych były tlenkowe warstwy powierzchniowe  $\text{Al}_2\text{O}_3$  wytworzone metodą anodowania impulsowego (o prostokątnych przebiegach prądu). Anodowanie impulsowe przeciwwórek prowadzono z użyciem stabilizowanego zasilacza impulsowego ZI-101, stosując zmienne częstotliwości ( $0,02 \div 200$  Hz) oraz wypełnienie ( $40 \div 100\%$ ) przebiegów prostokątnych. **Tabela 1** przedstawia spis zastosowanych modyfikacji przebiegów prądu anodowania impulsowego, natomiast **Rys. 2** zawiera oznaczenia parametrów przebiegu prądu. Proces elektrolityczny prowadzono z zachowaniem stałych gęstości ładunku elektrycznego  $108 \text{ A}\cdot\text{s}/\text{m}^2$  w czasie 60 minut i temperaturze 303 K, w elektrolicie wieloskładnikowym na bazie kwasu siarkowego.

**Tabela 1. Zastosowane modyfikacje prądu impulsowego**

Table 1. Applied modifications of pulsed current

Nr	Częstotliwość [Hz]	$t_{\text{ON}}$ [ms]	$t_{\text{OFF}}$ [ms]	Wypełnienie impulsu [%]
1	Prąd stały	5000	0	100
2	0,2	4000	1000	80
3	0,2	3000	2000	60
4	0,2	2000	3000	40
5	0,02	30000	20000	60
6	2	300	200	60
7	20	30	20	60
8	200	3	2	60

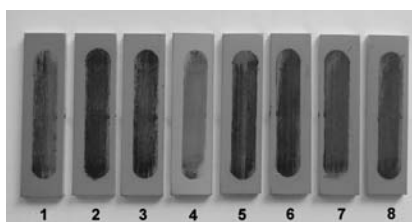


**Rys. 2. Oznaczenia parametrów zastosowanego przebiegu prądu impulsowego**  
 Fig. 2. Designations of the parameters of the pulsed current applied

Badania tribologiczne przeprowadzono przy naciskach jednostkowych 1 MPa i przy prędkości ślizgania 0,2 m/s (w warunkach odpowiadających pracy siłowników pneumatycznych bezsmarowych). Temperatura powietrza podczas testu wynosiła  $292 \pm 1$  K, natomiast wilgotność względna powietrza  $30 \pm 5\%$ . Ruch posuwisto-zwrotny z częstotliwością 2,5 Hz o amplitudzie  $8 \times 10^{-2}$  m prowadzono na drodze 15 km. Podczas testów dokonywano ciągłych pomiarów siły tarcia z częstotliwością 50 Hz przetwornikiem analogowo-cyfrowym Spider 8, dokonując akwizycji danych pomiarowych za pomocą programu Catman 4.5. Zużycie masy tworzywa PEEK/BG badań dokonywano za pomocą wagi analitycznej WA-35.

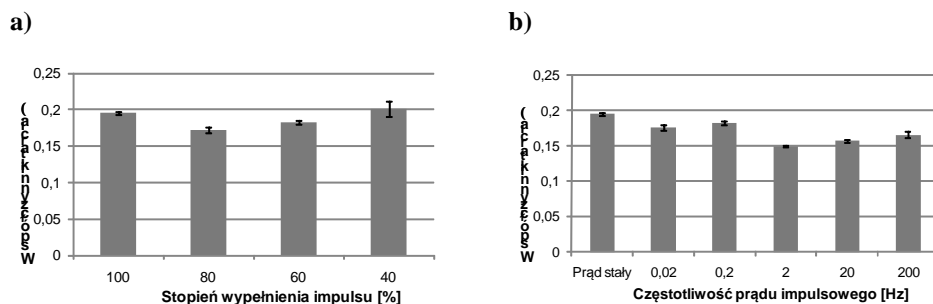
## WYNIKI BADAŃ

W wyniku współpracy tribologicznej tworzywa PEEK/BG z warstwami powierzchniowymi  $Al_2O_3$  nastąpiło we wszystkich badanych skojarzeniach naniesienie polimerowego filmu ślizgowego na powierzchnie przeciwpróbek (**Rys. 3**).



**Rys. 3. Polimerowy film ślizgowy naniesiony na powierzchniach warstw tlenkowych**  
 Fig. 3. A sliding polymer film deposited on oxide layers surfaces

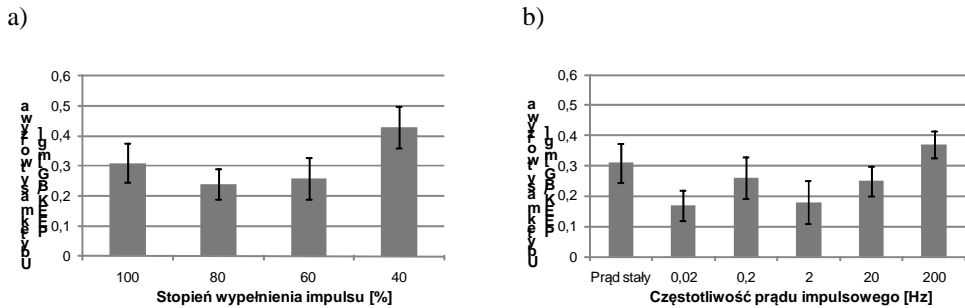
Uzyskane wyniki badań tribologicznych wskazują na istotne obniżenie współczynnika tarcia skojarzenia PEEK/BG–warstwa powierzchniowa  $Al_2O_3$  w przypadku zastosowania prądu impulsowego o wypełnieniu  $80\div 60\%$ , w stosunku do przeciwpróbek otrzymywanych stałoprądowo (**Rys. 4a**). Również zastosowanie zmiennych częstotliwości prądu impulsowego pozwala na znaczne obniżenie sił tarcia (o ok. 20%), w szczególności gdy anodowanie prowadzono przy częstotliwości prądu w zakresie od 2 do 200 Hz (**Rys. 4b**).



**Rys. 4.** Zmiana średniego współczynnika tarcia tworzywo PEEK/BG – warstwa  $Al_2O_3$ , dla warstw tlenkowych wytworzonych metodą impulsową: a) stosując zmienne wypełnienie przebiegu prostokątnego prądu, b) stosując zmienne częstotliwości prądu impulsowego

Fig 4. Change in the mean friction coefficient of PEEK/BG –  $Al_2O_3$  layer, for oxide layers fabricated via the pulse method: a) with applying variable duty cycles of a rectangular current waveform, b) with applying variable frequencies of a pulse current

Na **Rys. 5a i 5b** zamieszczono wyniki pomiarów zużycia masy tworzywa PEEK/BG po współpracy z warstwą tlenkową, w zależności od zmiany warunków prądowych procesu anodowania impulsowego. Zastosowanie metody impulsowej w procesie wytwarzania tlenkowych warstw powierzchniowych  $Al_2O_3$  spowodowało ograniczenie ubytku masy tworzywa PEEK/BG. Mniejszy ubytek masy próbki występował w przypadku skojarzeń, w których warstwy tlenkowe wytwarzane były przy  $80\div 60\%$  stopniu wypełnienia impulsu prostokątnego oraz przy częstotliwości prądu od 0,02 do 20 Hz.



**Rys. 5. Wyniki zużycia masowego tworzywa PEEK/BG po współpracy z warstwami tlenkowymi wytworzonymi metodą impulsową: a) stosując zmienne wypełnienie przebiegu prostokątnego prądu, b) stosując zmienne częstotliwości prądu impulsowego**

Fig. 5. Results of mass wear of the PEEK/BG material after interacting with oxide layers fabricated via the pulse method: a) with applying variable duty cycles of a rectangular current waveform, b) with applying variable frequencies of a pulse current

## WNIOSKI

Przedstawione powyżej wyniki badań wskazują, iż zastosowanie metody impulsowej o prostokątnym przebiegu prądu do anodowania twardego stopów aluminium pozwala modyfikować właściwości tribologiczne warstw powierzchniowych  $Al_2O_3$ . Rezultatem zmiany częstotliwości oraz stopnia wypełnienia przebiegów prostokątnych prądu procesu elektrolitycznego jest znaczne obniżenie sił tarcia w skojarzeniu z tworzywem PEEK/BG oraz zmniejszenie ubytku masy polimerowego przeciwtribopartnera. Godne podkreślenia jest, iż uzyskiwane zmiany właściwości warstw powierzchniowych  $Al_2O_3$  wynikają tylko i wyłącznie z innego rozkładu w czasie ładunków elektrycznych i nie pociągają za sobą dodatkowych kosztów procesu (stosuje się taki sam całkowity ładunek elektryczny jak w metodzie stałoprądowej).

## LITERATURA

1. Posmyk A.: Kształtowanie właściwości tribologicznych warstw wierzchnich tworzyw na bazie aluminium. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 62, Gliwice 2002.
2. Tubielewicz K., Skoneczny W.: Badania wężła tarcia sprężarki bezsmarowej z nową powłoką tlenkową, w: Technologia i oprzyrządowanie w obróbce powierzchniowej. Seria Monografie nr 42, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1996.

3. Skoneczny W., Kmita T.: Analiza parametrów tarcia tworzywa PEEK/BG współpracującego z warstwą tlenkową, w: Materiały polimerowe i ich przetwórstwo. Praca zbior. pod red. J. Koszkula. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004.
4. Wołek M.: Elementy ślizgowe par czterofluoroetylenu i stopów aluminium o specjalnie przygotowanej warstwie zewnętrznej. Uniwersytet Śląski, Katowice 1983.
5. Skoneczny W.: Kształtowanie właściwości warstw wierzchnich aluminium i jego stopów metodą anodowania twardego. Monografia, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała 2001.
6. Colombini C.: The use of pulse rectifiers in anodizing and plating. Metal Finishing 1992; nr 5, p. 42–46.
7. Fratila-Apachitei L.E., Duszczyk J., Katgerman L.: AlSi(Cu) anodic oxide layers formed in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> at low temperature using different current waveforms. Surface and Coatings Technology 2003; nr 3, s. 232–240.
8. Hsing-Hsiang Shih, Shiang-Lin Tzou: Study of anodic oxidation of aluminium in mixed acid using a pulsed current. Surface and Coatings Technology 2000; nr 2–3, s. 278–285.
9. Kmita T.: Właściwości anodowych powłok tlenkowych na aluminium wytwarzanych metodą impulsową. Inżynieria Materiałowa 2010, nr 4, s. 114–117.

**Recenzent:**  
**Janusz JANECKI**

## Summary

**The paper presents the tribological properties of oxide layers Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtained on the EN AW-5251 aluminium alloy via a pulsed anodizing method in multi-component electrolyte. The anodizing process was conducted using a rectangular current waveform of variable frequency (0,02÷200 Hz) and a variable duty cycle of the pulse (40÷100%). Tribological tests were conducted in a pin-on-flate surface couple in reciprocating motion at the T-17 research stand simulating the conditions of cylinder/sealing contact of lubricant-free pneumatic servo-motors. The research results prove that application of the pulse method with a rectangular current waveform for hard anodization of aluminium alloys allows us to modify the tribological properties of anodic hard coatings.**