

**Tomasz KMITA**\*

## **WPŁYW PARAMETRÓW PROCESU ANODOWANIA IMPULSOWEGO NA TOPOGRAFIĘ POWIERZCHNI ANODOWYCH POWŁOK TLENKOWYCH NA ALUMINIUM**

### **THE INFLUENCE OF THE PULSED ANODISING PROCESS PARAMETERS ON THE SURFACE TOPOGRAPHY OF ANODIC OXIDE COATINGS ON ALUMINIUM**

#### **Słowa kluczowe:**

powłoka tlenkowa  $Al_2O_3$ , anodowanie impulsowe, struktura geometryczna powierzchni

#### **Key words:**

oxide coating  $Al_2O_3$ , pulsed anodizing, geometrical structure of surface

#### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono badania wpływu procesu wytwarzania na topografię powierzchni anodowych powłok tlenkowych na aluminium przeznaczonych dla skojarzeń ślizgowych bezsmarowych z tworzywami polimerowymi. Badane powłoki tlenkowe wytwarzano metodą anodowania impulsowego stopu aluminium EN-AW5251, stosując zmienne parametry wytwarzania, tj. częstotliwość

---

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

prądu anodowego ( $100 \pm 0,2$  Hz) oraz wypełnienie impulsu prostokątnego prądu ( $100 \pm 40\%$ ). Badania topografii powierzchni prowadzono metodą profilografii stykowej (2D i 3D) na profilografometrze Form Talysur Series 2. Uzupełnieniem badań była ocena morfologii powierzchni ww. powłok tlenkowych na podstawie zdjęć SEM. Uzyskane wyniki badań dowodzą, iż modyfikacja parametrów prądowych procesu anodowania impulsowego pozwala na kształtowanie topografii i morfologii powierzchni anodowych powłok tlenkowych  $Al_2O_3$  na stopie Al EN-AW5251.

## WPROWADZENIE

Anodowe powłoki tlenkowe (APT) na stopach aluminium znajdują zastosowanie w niesmarowanych węzłach kinematycznych maszyn roboczych, m.in. jako gładzie cylindrów siłowników pneumatycznych i sprężarek, gdzie współpracują ślizgowo z polimerowymi uszczelnieniami [L. 1]. Głównym powodem stosowania APT jako modyfikatora warstwy wierzchniej aluminium jest możliwość uzyskania wysokiej mikrotwardości ( $300 \pm 600$   $\mu$ HV) i niskiej ścieralności powierzchni. Ponadto anodowa powłoka  $Al_2O_3$  charakteryzuje się bardzo dobrą adhezją do podłoża Al i dostateczną grubością (do 200  $\mu$ m) [L. 1–2].

W niesmarowanych węzłach ślizgowych skojarzeń APT–tworzywo polimerowe istotną rolę pełni proces nanoszenia polimerowego filmu ślizgowego na powierzchnię powłoki tlenkowej. Szybkość nanoszenia filmu ślizgowego, jego stabilność i grubość mają wpływ na parametry procesu tarcia i zużycia, a w konsekwencji na trwałość i niezawodność węzła ślizgowego APT–tworzywo polimerowe [L. 1, 3]. Proces nanoszenia polimerowego filmu ślizgowego na powierzchnie anodowej powłoki tlenkowej podczas współpracy ślizgowej z polimerami zależy w znacznym stopniu od struktury geometrycznej powierzchni (SGP) i morfologii powierzchni APT. Właściwości te można kształtować w pewnym zakresie m.in. poprzez warunki i metodę wytwarzania [L. 2, 4]. Jedną z metod wytwarzania powłok tlenkowych na aluminium jest metoda anodowania impulsowego [L. 5], która, jak wskazują wcześniejsze prace autora [L. 6, 7], pozwala na łatwą i stosunkowo tanią modyfikację właściwości tribologicznych APT (obniżenie współczynnika tarcia, zmniejszenie zużycia masowego współpracującego z APT tworzywa polimerowego). Prezentowana praca przedstawia badania nad wpływem parametrów procesu wytwarzania impulsowego (częstotliwości i stopnia wypełnienia impulsu prostokątnego prądu anodowego) na topografię powierzchni APT na aluminium.

## PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

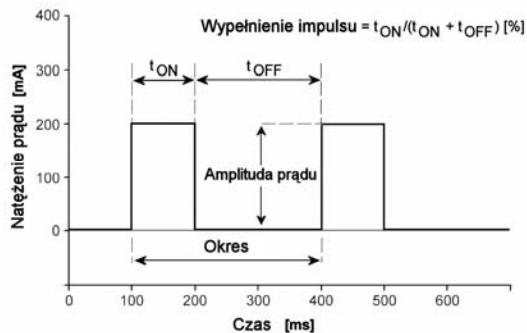
Przedmiotem badań były anodowe powłoki tlenkowe  $Al_2O_3$  uzyskiwane elektrochemicznie na stopie aluminium do przeróbki plastycznej EN-AW 5251.

Powłoki tlenkowe wytwarzano w elektrolicie wieloskładnikowym na bazie kwasu siarkowego i szczawiowego w temperaturze 303 K, w czasie 60 minut, przy zachowaniu stałych średnich gęstości ładunku elektrycznego  $108 \text{ A}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ . Proces anodowania prowadzono przy użyciu stabilizowanego zasilacza metodą impulsową, stosując zmienne częstotliwości ( $100\pm 0,2 \text{ Hz}$ ) oraz wypełnienie impulsu prostokątnego prądu anodowania ( $100\pm 40\%$ ). **Tabela 1** przedstawia spis zastosowanych modyfikacji przebiegów prądu anodowania impulsowego, natomiast **Rys. 1** zawiera oznaczenia parametrów przebiegu prądu.

**Tabela 1. Zastosowane modyfikacje prądu impulsowego**

Table 1. Applied modifications of pulsed current

Nr próbki	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Częstotliwość prądu [Hz]	Prąd stały (DC)	1	1	1	100	100	100	10	Prąd stały (DC)	0,2	2	0,2
Stopień wypełnienia impulsu [%]	100	80	60	40	80	60	40	80	100	80	60	40



**Rys. 1. Oznaczenia parametrów zastosowanego przebiegu prądu impulsowego**

Fig. 1. Designations of the parameters of the pulsed current applied

Wytworzone próbki poddano badaniom struktury geometrycznej powierzchni metodą profilografii stykowej przy użyciu profilografometru Talysurf Series 2. Badania SGP prowadzono metodą 3D (próbki 1÷8) na powierzchniach  $4 \text{ mm}^2$  oraz 2D (próbki 9÷12), zbierając po 10 profili chropowatości powierzchni. Analizę uzyskanych danych profilografometrycznych przeprowadzono przy wykorzystaniu programu TalyMap 3D. Uzupełnieniem ww. badań była ocena morfologii powierzchni powłok tlenkowych (próbki 1÷4) wykonana za pomocą programu Met-Ilo na podstawie zdjęć o powiększeniu  $5000\times$  uzyskanych z zastosowaniem mikroskopu skaningowego Philips X130/ESEM/EDAX.

## WYNIKI BADAŃ

Struktura geometryczna powierzchni anodowych powłok tlenkowych na stopach aluminium wytworzonych metodą impulsową charakteryzuje się: niskimi wartościami parametrów amplitudowych Sa, Sq, Sz; korzystnym stosunkiem parametrów krzywej nośności Spk, Svk, Sk oraz ujemną wartością współczynnika asymetrii rozkładu wysokości topografii powierzchni Ssk (**Tabela 2**).

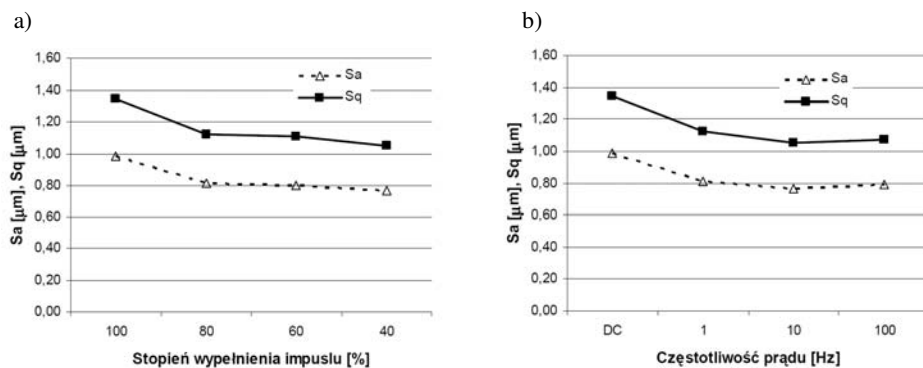
**Tabela 2. Parametry stereometryczne powierzchni anodowych powłok tlenkowych**

Table 2. The surface stereometric parameters of anodic oxide coatings

Nr próbek	Parametry stereometryczne						
	Sa [μm]	Sq [μm]	Sz [μm]	Sk [μm]	Spk [μm]	Svk [μm]	Ssk
1	0,99	1,34	9,26	2,43	0,47	2,62	-1,60
2	0,81	1,12	8,21	2,07	0,41	2,23	-1,72
3	0,80	1,11	8,27	2,08	0,44	2,13	-1,60
4	0,77	1,05	7,87	2,00	0,46	2,00	-1,59
5	0,79	1,07	8,00	2,12	0,52	1,98	-1,43
6	0,77	1,05	9,39	2,03	0,58	1,95	-1,46
7	0,74	1,01	7,94	2,00	0,46	1,88	-1,54
8	0,76	1,05	8,00	2,00	0,42	2,04	-1,63

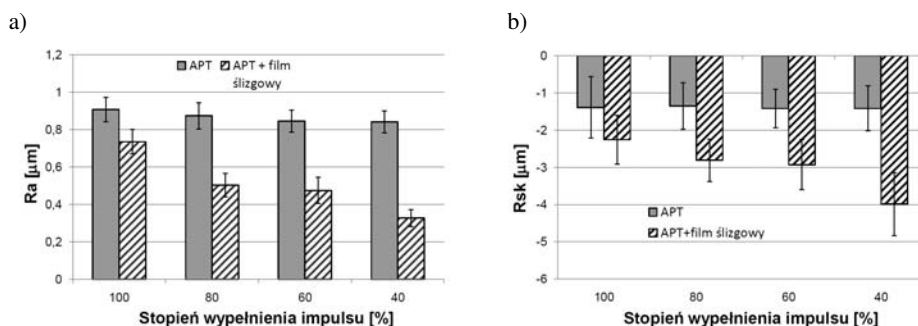
Wyniki parametrów 3D chropowatości powierzchni wskazują na wpływ parametrów procesu anodowania impulsowego na strukturę geometryczną powierzchni powłok Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. W wyniku zmniejszenia stopnia wypełnienia impulsu prądu anodowego następuje spadek wartości parametrów amplitudowych APT, co graficznie przedstawiono na **Rys. 2a**. Podobna zależność występuje w przypadku zwiększenia częstotliwości prądu impulsowego do 10 Hz (**Rys. 2b**). Natomiast wzrost częstotliwości powyżej 10 Hz spowodował wzrost parametrów amplitudowych chropowatości powierzchni APT.

Badania chropowatości powierzchni APT przeprowadzone metodą 2D na próbkach (9÷12), które poddano również testom tarciovo-żuyciowym w skojarzeniu ślizgowym bezsmarowym z tworzywem PEEK/BG (wyniki badań tribologicznych zostały przedstawione w pracy [L. 7]), potwierdzają zależność parametrów amplitudowych profilu chropowatości powierzchni APT od stopnia wypełnienia impulsu prądu anodowania (**Rys. 3a**). Zależność ta jest jeszcze silniejsza w przypadku pomiarów chropowatości filmu ślizgowego naniesionego na powierzchni APT w wyniku współpracy tribologicznej z tworzywem PEEK/BG. Efektem wzrostu pokrycia powierzchni anodowych powłok tlenkowych filmem polimerowym jest spadek parametrów amplitudowych chropowatości powierzchni (**Rys. 3a**) oraz obniżenie parametru Rsk (**Rys. 3b**).



**Rys. 2. Zmiana parametrów stereometrycznych powierzchni  $S_a$ ,  $S_q$  powłok  $Al_2O_3$  wytworzonych metodą impulsową: a) stosując zmienne wypełnienie przebiegu prostokątnego prądu, b) stosując zmienne częstotliwości prądu impulsowego**

Fig. 2. Change in geometrical structure of surface  $S_a$ ,  $S_q$  of the  $Al_2O_3$  coatings fabricated via the pulsed method: a) with applying variable duty cycles of a rectangular current waveform, b) with applying variable frequencies of a pulse current

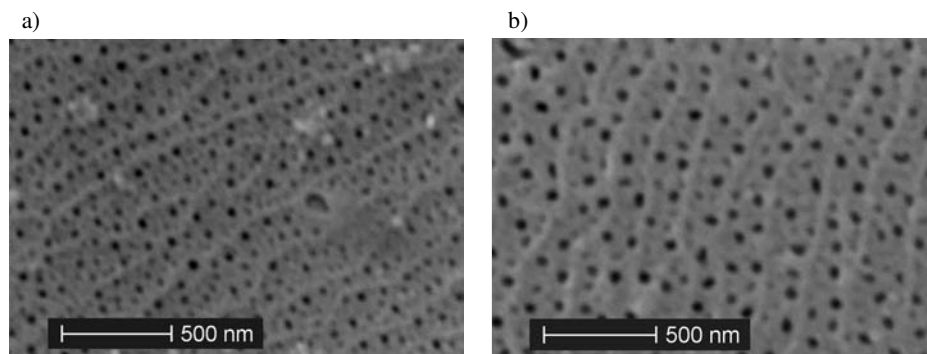


**Rys. 3. Zmiana parametrów chropowatości powierzchni  $R_a$  (a) i  $R_{sk}$  (b) powłok tlenkowych wytworzonych metodą impulsową, stosując zmienne wypełnienie przebiegu prostokątnego prądu, przed i po współpracy tribologicznej z tworzywem PEEK/BG**

Fig. 3. Change in the surface roughness parameters  $R_a$  (a) and  $R_{sk}$  (b) of the  $Al_2O_3$  coatings fabricated via the pulsed method with applying variable duty cycles of a rectangular current waveform, before and after tribological interaction with the PEEK/BG material

Anodowe powłoki tlenkowe na aluminium charakteryzują się morfologią powierzchni obejmującą występowanie szerokiej skali rozmiarów porów – od skali nano do mikro (**Rys. 4**), mogących stanowić zasobniki na środek smarowy lub produkty zużycia. Analiza obrazu zdjęć powierzchni APT uzyskanych metodą impulsową wykazała, iż ze wzrostem stopnia wypełnienia impulsu prostokątnego prądu anodowania następuje spadek ilości porów oraz wzrost ich średnic, a także wzrost porowatości powierzchniowej (**Tabela 3**). Zgodnie z litera-

turą [L. 8] można wnioskować, iż wykazana zmiana morfologii powierzchni może mieć istotny wpływ na sposób nanoszenia filmu ślizgowego podczas współpracy APT z tworzywem polimerowym.



**Rys. 4. Zdjęcia SEM powierzchni powłoki tlenkowej otrzymanej metodą impulsową: a) przy wypełnieniu impulsu 100%, b) przy wypełnieniu impulsu 40%**

Fig. 4. SEM images of the surface of the anodic oxide coatings obtained using the pulsed method: a) with duty cycle 100%, b) with duty cycle 40%

**Tabela 3. Wyniki analizy morfologii powierzchni powłok tlenkowych wytworzonych metodą anodowania impulsowego**

Table 3. The results of research of surface morphology of anodic oxide formed by the pulsed method

Nr próbki	Całkowita powierzchnia porów [ $\mu\text{m}^2$ ]	Średnica fereta porów [nm]	Liczba porów [ $1/\mu\text{m}^2$ ]
1	0,51	49,2±12,1	88
2	0,59	53,1±10,5	89
3	0,67	56,9±12,9	86
4	0,64	62,2±13,1	65

## WNIOSKI

Przedstawione powyżej wyniki badań wskazują, iż zastosowanie metody impulsowej o prostokątnym przebiegu prądu do anodowania stopów aluminium pozwala modyfikować topografię powierzchni powłok tlenkowych  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Rezultatem zmiany częstotliwości oraz stopnia wypełnienia przebiegów prostokątnych prądu proces anodowania impulsowego jest obniżenie parametrów amplitudowych chropowatości powierzchni i uzyskanie powierzchni o kształcie płaskowyzu (Plateau). Zmniejszenie stopnia wypełnienia impulsu prostokątnego prądu anodowania, w zakresie 100÷40%, prowadzi również do zmian w morfologii powierzchni, tj. zwiększenia porowatości powierzchniowej z równoczesnym zmniejszeniem liczebności porów na powierzchni APT. Efek-

tem zmian struktury geometrycznej i morfologii powierzchni anodowych powłok  $\text{Al}_2\text{O}_3$  może być łatwiejsze nanoszenie polimerowego filmu ślizgowego na powierzchnie APT współpracujących ślizgowo z tworzywem PEEK/BG.

## LITERATURA

1. Wołek M.: Elementy ślizgowe par czterofluoroetylenu i stopów aluminium o specjalnie przygotowanej warstwie zewnętrznej. Katowice: Uniwersytet Śląski, 1983.
2. Posmyk A.: Kształtowanie właściwości tribologicznych warstw wierzchnich tworzyw na bazie aluminium. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Z. 62, Gliwice 2002.
3. Gołąb A., Józefów A.: Trwałość filmu ślizgowego z PTFE i grafitu na powierzchni utlenionego elektrolitycznie aluminium. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn 1999, nr 4, s. 627–636.
4. Skoneczny W.: Kształtowanie właściwości warstw wierzchnich aluminium i jego stopów metodą anodowania twardego. Monografia, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała 2001.
5. Hsing-Hsiang Shih, Shiang-Lin Tzou: Study of anodic oxidation of aluminum in mixed acid using a pulsed current. Surface and Coatings Technology 2000, nr 2–3, s. 278–285.
6. Kmita T., Skoneczny W.: Wzrost trwałości eksploatacyjnej skojarzenia tworzywo polimerowe–powłoka tlenkowa wytwarzana metodą anodowania impulsowego. Eksploatacja i Niezawodność 2010, nr 1, s. 77–82.
7. Kmita T.: Właściwości warstw tlenkowych  $\text{Al}_2\text{O}_3$  otrzymywanych metodą anodowania impulsowego: Tribologia 2011, nr 6, s. 99–105.
8. Skoneczny W.: Współpraca ślizgowa pary warstwa tlenkowa–tworzywo sztuczne w warunkach tarcia technicznie suchego. Tribologia 2004, nr 5, s. 249–256.

## Summary

The purpose of the preset study was to evaluate the influence of the pulsed anodising process parameters on the surface topography of anodic oxide coatings on the aluminium alloy EN-AW 5251. The pulsed anodising process was conducted using a rectangular current waveform of variable frequency (100–0,2 Hz) and a variable duty cycle of the pulse (100–40%). Measurement of the anodic oxide coating,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , surface roughness (2D and 3D) was made using the Form Talysurf Series 2 profilographometer. Evaluation of the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  coating morphology was made by image analysis, based on surface pictures acquired by means of a scanning electron microscope, Philips XL 30 ESEM/TMP. The research results prove that the application of the pulse method with a rectangular current waveform for the anodization of aluminium alloys allows a reduction of the amplitude parameters of surface roughness and a modification of anodic oxide coating porosity.