

Anna PIOCHACZ, Jarosław Robert MIKOŁAJCZYK

## **WPLYW CZASU TRWANIA PROCESU ANODOWANIA STOPU ALUMINIUM EN AW-6060 NA GRUBOŚĆ I TWARDOŚĆ OTRZYMANEJ WARSTWY**

**Streszczenie:** Anodowanie powierzchni aluminiowych wiąże się z wieloma zmiennymi czynnikami, na które można wpływać, aby ten proces optymalizować. Działania polegające na otrzymaniu powierzchni odpornych na korozję są pożądane i zawsze aktualne. W pracy przedstawiono wstępne badania wpływu wybranych parametrów procesu anodowania na grubość otrzymanej powłoki anodowej i na jej twardość. Wyniki wykonanych badań wskazują, że można dla określonej temperatury kąpieli oraz dla określonej gęstości prądu znacznie zwiększyć grubość powłoki anodowej i jej twardość, zwiększając tylko czas trwania tego procesu.

**Słowa kluczowe:** galwanotechnika, anodowanie

### **1. WPROWADZENIE**

Anodowanie jest związane z jedną z powłok konwersyjnych i polega na wytworzeniu na powierzchni aluminium tlenku glinu. Wytworzona podczas tego procesu powłoka jest twardsza i bardziej odporna na korozję niż warstwa powstająca w sposób naturalny.

Jako materiał próbek wybrano stop aluminium EN AW-6060 charakteryzujący się dużą odpornością na korozję, średnią wytrzymałością na rozciąganie i średnią wytrzymałością zmęczeniową. Skład chemiczny tego gatunku materiału przedstawiono w tabeli 1. Badane próbki miały wymiary 30 x 10 x 100 mm. Celem badań było określenie wpływu czasu anodowania na grubość oraz twardość otrzymanych warstw. Do badania grubości warstw anodowanych użyto testera TOP CHECK przedstawionego na rysunku 1. Pomiarów twardości dokonano natomiast za pomocą twardościomierza firmy Łucznik z wykorzystaniem metody Rockwella skala B (rys. 2).

---

<sup>1</sup> inż. Anna PIOCHACZ, Zakład Obróbki Aluminium ZOBAL, Trzcianka k. Piły,  
e-mail: ania.piochacz@gmail.com

<sup>2</sup> dr inż. Jarosław Robert MIKOŁAJCZYK, Instytut Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. S. Staszica w Pile, e-mail: jmikolajczyk@pwsz.pila.pl



Rys. 1. Tester TOP CHECK do pomiaru grubości warstw anodowanych (fot. A. Piochacz)

Fig. 1. A device TOP CHECK for measuring thickness of anodized layers (photo by A. Piochacz)



Rys. 2. Twardościomierz firmy Łucznicz (fot. A. Piochacz)

Fig. 2. A hardness meter produced by Łucznicz (photo by A. Piochacz)

Tabela 1. Skład chemiczny stopu EN AW-6060 (na podstawie [8])

Table 1. The chemical composition of the alloy EN AW-6060 (according to [8])

Al [%]	Mg [%]	Si [%]	Fe [%]	Mn [%]	Zn [%]	Cr [%]	Ti [%]	Cu [%]	inne [%]
reszta	0,35÷0,6	0,3÷0,6	0,1÷0,3	max 0,1	max 0,15	max 0,05	max 0,1	max 0,1	max 0,05

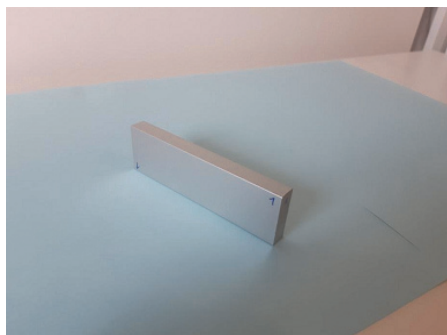
gdzie: Al – glin, Mg – magnez, Si – krzem, Fe – żelazo, Mn – mangan, Zn – cynk, Cr – chrom, Ti – tytan, Cu – miedź.

Do przeprowadzenia badań przygotowano 13 numerowanych próbek (w celu ich dalszej identyfikacji), które poddano następującym procesom:

- odtłuszczeniu, trawieniu, płukaniu (próbki o numerach 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11 oraz 13);
- odtłuszczeniu, szcztkowaniu, płukaniu (próbka o numerze 10);
- odtłuszczeniu, polerowaniu, płukaniu (próbka o numerze 12).

Próbka o numerze 3 jest materiałem w stanie surowym (oznaczona jako próbka wzorcowa „s”).

Z ww. zbioru próbek tylko cztery próbki były anodowane w identycznych warunkach dotyczących temperatury kąpeli oraz wartości gęstości prądu. Były to próbki o numerach 1, 4, 5, 6. Parametrem zmiennym dla wymienionych próbek był tylko czas anodowania. Zmierzone grubości tak otrzymanych powłok przedstawiono w tabeli 2. Temperatura kąpeli dla tych próbek wynosiła  $+18^{\circ}\text{C}$ , natomiast gęstość prądu  $1,2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$ . Czas trwania procesu anodowania dla badanych próbek przedstawiono w tabeli 2. Fotografie poszczególnych próbek zaprezentowano na rysunkach 3–6. Pozostałe próbki miały inne zmienne parametry, np. gęstość prądu, dlatego nie ujęto ich w analizie.



Rys. 3. Próbka numer 1 po procesie anodowania (fot. A. Piochacz)

Fig. 3. Sample no. 1 after anodizing (photo by A. Piochacz)



Rys. 4. Próbka numer 4 po procesie anodowania (fot. A. Piochacz)

Fig. 4. Sample no. 4 after anodizing (photo by A. Piochacz)



Rys. 5. Próbką numer 5 po procesie anodowania (fot. A. Piochacz)  
Fig. 5. Sample no. 5 after anodizing (photo by A. Piochacz)



Rys. 6. Próbką numer 6 po procesie anodowania (fot. A. Piochacz)  
Fig. 6. Sample no. 6 after anodizing (photo by A. Piochacz)

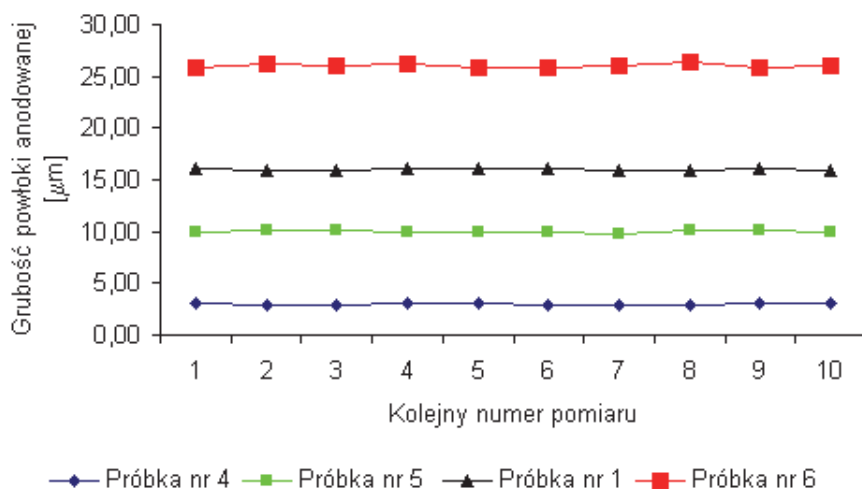
Tabela 2. Czasy trwania procesu anodowania w min dla poszczególnych próbek  
Table 2. Duration of the anodizing process in min for individual samples

Nr próbki	Czas procesu anodowania min
1	40
4	10
5	30
6	54

## 2. WYNIKI BADAŃ

Przedstawione poniżej wyniki badań dotyczą próbek opisanych numerami: 1, 4, 5 i 6, które stanowią część szerszych badań odnoszących się do wpływu wybranych parametrów procesu anodowania na m.in. strukturę geometryczną powierzchni. Badania te nie zostały ujęte w prezentowanym opracowaniu.

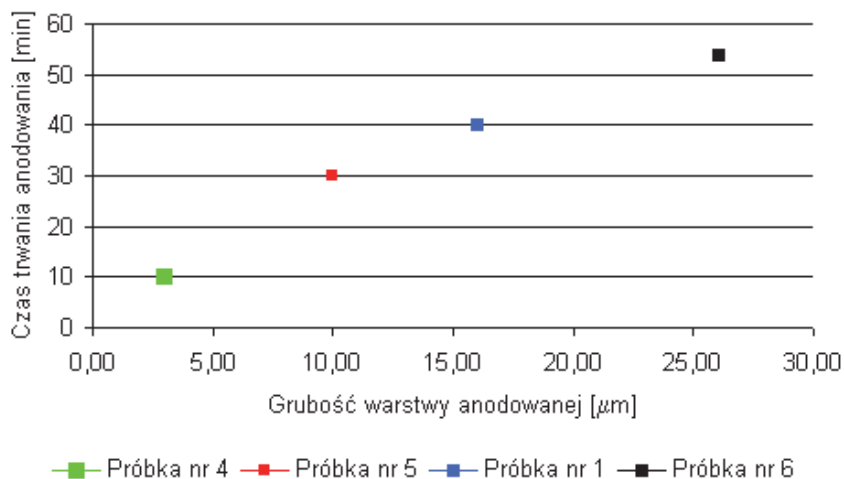
Poniżej przedstawiono otrzymane w czasie przeprowadzania ww. badań wyniki, przy czym na rysunku 7 zaprezentowano zmierzone grubości powłoki anodowanej dla badanych próbek.



Rys. 7. Zależność grubości otrzymanej powłoki anodowej od czasu trwania procesu anodowania. Parametry stałe: temperatura kąpielii  $+18^{\circ}\text{C}$ , gęstość prądu podczas anodowania  $1,2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$ . Próbka nr 4 (10 min); próbka nr 5 (30 min), próbka nr 1 (40 min), próbka nr 6 (54 min)

Fig. 7. Dependence of the thickness of the obtained anodic coating on the duration of the anodizing process. Fixed parameters: bath temperature  $+18^{\circ}\text{C}$ , current density during anodizing  $1.2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$ . Sample no. 4 (10 min), sample no. 5 (30 min), sample no. 1 (40 min), sample no. 6 (54 min)

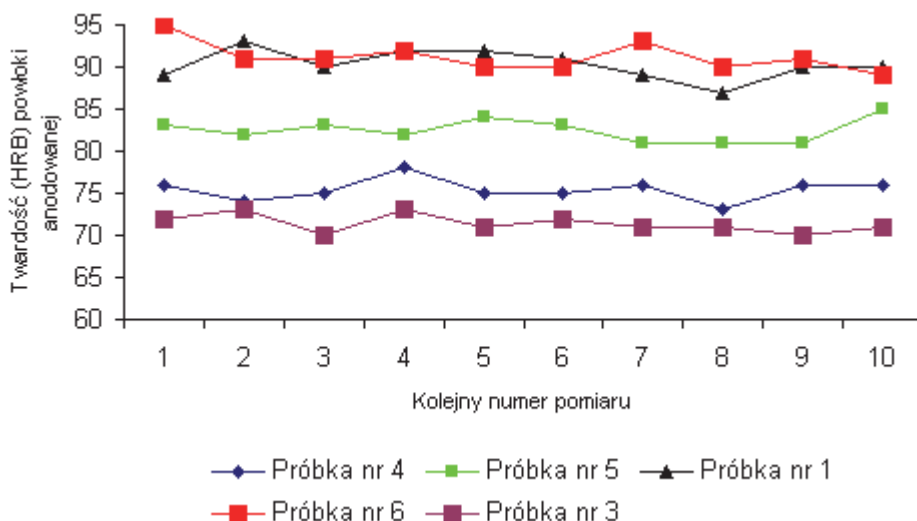
Dla zmierzonych grubości warstw anodowanych obliczono wartości średnie dla poszczególnych próbek, a następnie sporządzono wykres zależności średniej grubości otrzymanej powłoki od czasu trwania procesu anodowania, który przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Zależność średnich grubości powłoki anodowanej od czasu trwania procesu anodowania dla stałej temperatury kąpielii  $+18^{\circ}\text{C}$  oraz stałego natężenia gęstości prądu  $1,2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$

Fig. 8. Dependence of the average thickness of the anodized coating on the duration of the anodizing process for a fixed bath temperature  $+18^{\circ}\text{C}$  and a fixed current density  $1.2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$

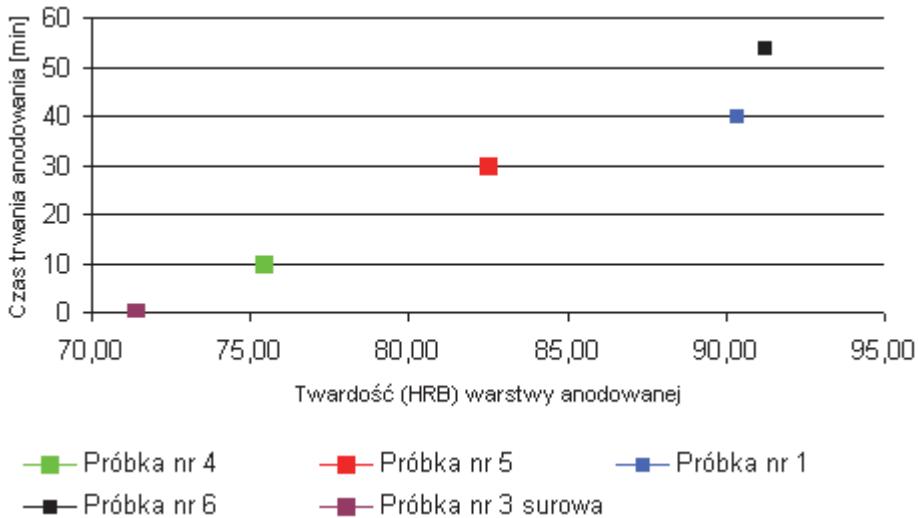
Jako ostatni etap badań był wykonany pomiar twardości powłok anodowych dla poszczególnych próbek, na podstawie którego zbudowano wykres zależności twardości powłoki od czasu trwania procesu anodowania (rys. 9).



Rys. 9. Zależność twardości (HRB) otrzymanej powłoki anodowej od czasu trwania procesu anodowania. Parametry stałe: temperatura kąpeli  $+18^{\circ}\text{C}$ , gęstość prądu podczas anodowania  $1,2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$ . Próbka nr 3 (surowa „s” bez warstwy anodowanej); próbka nr 4 (10 min); próbka nr 5 (30 min); próbka nr 1 (40 min); próbka nr 6 (54 min)

Fig. 9. Dependence of hardness (HRB) of the obtained anodic coating on the duration of the anodizing process. Fixed parameters: bath temperature  $+18^{\circ}\text{C}$ , current density during anodizing  $1.2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$ . Sample no. 3 (raw "s" without an anodized layer); sample no. 4 (10 min); sample no. 5 (30 min); sample no. 1 (40 min); sample no. 6 (54 min)

Dla zmierzonych twardości warstw anodowanych obliczono wartości średnie dla poszczególnych próbek, a następnie sporządzono wykres zależności średniej twardości otrzymanej powłoki od czasu trwania procesu anodowania, który przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Zależność średnich twardości powłoki anodowanej od czasu trwania procesu anodowania dla stałej temperatury kąpeli  $+18^{\circ}\text{C}$  oraz stałego natężenia gęstości prądu  $1,2\text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$

Fig. 10. Dependence of the average hardness of the anodized coating on the duration of the anodizing process for a fixed bath temperature  $+18^{\circ}\text{C}$  and a fixed current density  $1,2\text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$

### 3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona doświadczalna weryfikacja czynnika badanego, jakim był czas trwania procesu anodowania przy stałej temperaturze kąpeli i stałej gęstości prądu, wykazała wpływ tego czynnika na grubość oraz twardość otrzymanej powłoki anodowej. Zwiększenie czasu anodowania z 10 do 54 minut powoduje aż ok. 9-krotny wzrost grubości powłoki anodowej (z 3 do  $26\text{ }\mu\text{m}$ ). Wraz z grubością otrzymanej powłoki wzrasta również jej twardość, jednak już w znacznie mniejszym stopniu z 75,4 HRB (dla czasu 10 minut) do 91,20 HRB (dla czasu 54 minut), czyli następuje wzrost twardości o ok. 27,7%.

W celu określenia wpływu innych czynników, np. zastosowania szczotkowania, na proces anodowania konieczne są dalsze badania w tym kierunku.

W wyniku anodowego utleniania aluminium powstająca warstwa tlenkowa, jak podano w pracy [5], składa się z dwóch zasadniczych części:

- pierwsza z nich jest cienka, gęsta i nieporowata o grubości od 0,5 do 2% całkowitej grubości warstwy;
- druga część jest porowata, ma mniejszą gęstość i mniejszą oporność elektryczną.

Na podstawie zaprezentowanych badań stwierdzono wzrost twardości warstwy anodowanej w zależności od czasu trwania procesu anodowania. Trudno jednak określić, czy przyczyną ww. wzrostu twardości była zmiana (zwiększenie) grubości pierwszej (licząc od podłoża) cienkiej, gęstej i nieporowatej warstewki tlenkowej, ponieważ badania nie obejmowały tego aspektu.

Badania twardości przedstawione w pracy ze względów praktycznych dotyczyły warstwy wierzchniej elementów (próbek). Konwencjonalne metody pomiaru twardości (metody: Brinnella lub Vickersa) powłok anodowanych w ich normalnym wykonaniu nie nadają się do tego celu, gdyż powstające w wyniku badania wgłębienia są najczęściej wielokrotnie większe niż grubość samej powłoki. Tymczasem pomiary makro- i mikrotwardości bardzo często różnią się znacznie od siebie w zależności od np. miejsca pomiaru (inna jest twardość na powierzchni pojedynczego kryształu metalu, a inna na granicy ziaren) [4].

## LITERATURA

- [1] BIESTEK T., WEBER J.: Powłoki konwersyjne. Państwowe Wydawnictwo Techniczne Warszawa, 1968.
- [2] MIKOŁAJCZYK J.R.: Tribolestery. Budowa, przeznaczenie. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. S. Staszica w Pile, 2019.
- [3] MIKOŁAJCZYK J.R.: Maszyny tarciove. Budowa, przeznaczenie. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. S. Staszica w Pile, 2018.
- [4] POKRASEN A.: Pokrycia ochronne i dekoracyjne. Państwowe Wydawnictwo Techniczne Warszawa, 1959.
- [5] POSMYK A.: Kształtowanie właściwości tribologicznych warstw wierzchnich tworzyw na bazie aluminium. Politechnika Śląska Gliwice, 2002.
- [6] Praca zbiorowa: Galwanotechnika. Zagadnienia podstawowe. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa, 1963.
- [7] Praca zbiorowa: Poradnik galwanotechnika. Państwowe Wydawnictwa Techniczne Warszawa, 1961.
- [8] [www.demet.pl](http://www.demet.pl)

## INFLUENCE OF ALUMINIUM TYPE EN AW-6060 ANODIZING PROCESS DURATION ON THE THICKNESS AND HARDNESS OF THE OBTAINED LAYER

**Summary:** The process of aluminum surface anodizing carries many variable factors that can be influenced to optimize this process. Efforts to obtain surfaces resistant to corrosion are desirable and always up to date. Preliminary studies on the influence of selected parameters of the anodizing process on the thickness of the anodic coating obtained and on its hardness are presented. The tests carried out show that for a given bath temperature and for a specific current density, it is possible to significantly increase the thickness of the anodic coating and its hardness, increasing only the duration of the process.

**Key words:** electroplating, anodizing