

## WICZENIE 10

## ANODOWANIE ALUMINIUM

## WPROWADZENIE

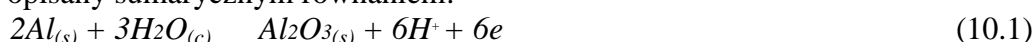
Jednym ze sposobów poprawy własności powierzchniowych metali (np. odporności na korozję lub cieranie, twardość) jest wytwarzanie tzw. *powłok konwersyjnych*. Są to warstewki tlenkowe, chromianowe lub fosforanowe. Powłoki tlenkowe wytwarza się zwykle w procesie elektrolizy zwanym *anodowaniem* (takie: elokacja, oksydowanie). Anodowanie stosuje się najczęściej w przypadku czystego aluminium i jego stopów<sup>1</sup>, stopów magnezu i tytanu oraz niektórych stali.

Warstewki tlenku glinu  $Al_2O_3$  uzyskuje się w procesie anodowania prowadzonym w elektrolizerze, w którym anod jest utleniany przedmiot aluminiowy<sup>2</sup>, natomiast katod stanowi metal odporny na działanie elektrolitu (np. ołów, aluminium). Wybór rodzaju kąpieli elektrolitycznej uzależniony jest od dalszego przeznaczenia anodowanego elementu:

- w roztworach kwasu siarkowego  $H_2SO_4$ , chromowego  $H_2CrO_4$  lub szczawiowego  $H_2C_2O_4$  uzyskuje się powłoki ochronne (antykorozyjne) i dekoracyjne<sup>3</sup>, o grubości 5-150  $\mu m$ ;
- w roztworze kwasu borowego  $H_3BO_3$  wytwarza się na folii aluminiowej cienkie (0,1-1  $\mu m$ ), nieporowate warstwy elektroizolacyjne stosowane w produkcji kondensatorów;
- w roztworach kwasu siarkowego lub szczawiowego otrzymuje się powłoki techniczne (25-150  $\mu m$ ) o wysokiej odporności na cieranie, stanowiące mechaniczne zabezpieczenie powierzchni metalu (tzw. powłoki twarde);
- w roztworach kwasu fosforowego  $H_3PO_4$  wytwarza się warstewki tlenkowe (1-5  $\mu m$ ) stanowiące podwarstwy pod powłoki lakiernicze, metalowe lub rodki smarne i kleje.

Proces elektrolizy prowadzi się w określonych warunkach prądowych (natężenie i napięcie) oraz w stałej temperaturze. W Tabeli 10.1 przedstawiono przykładowe parametry procesów przemysłowych prowadzonych z zastosowaniem prądu stałego.

Podczas anodowego utleniania aluminium w roztworach kwasów, na anodzie zachodzi proces opisany sumarycznym równaniem:



Warstewka tlenku glinu tworzy się w wyniku reakcji jonów  $Al^{3+}$  (powstających w wyniku przepływu prądu) z jonami  $O^{2-}$  lub  $OH^-$  powstającymi w reakcji rozkładu wody.

Na katodzie zachodzi wydzielanie gazowego wodoru:



<sup>1</sup> Anodowanie niektórych stopów aluminium nie jest wskazane ze względu na pogorszenie wyglądu anodowanego przedmiotu na skutek obecności dodatków stopowych.

<sup>2</sup> Warstewki tlenkowe na aluminium można wytwarzać także w warunkach bezprądowych w procesie *alodynowania*.

<sup>3</sup> Równie w mieszaninie kwasów siarkowego i szczawiowego.

Tabela 10.1

Przykładowe parametry przemysłowego anodowania aluminium i jego stopów.

Proces	Elektrolit	Warunki pr dowe	Temperatura	Czas	Charakterystyka warstewki tlenkowej
Alumilite	10-20% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1-2 A/dm <sup>2</sup> , 10-20V	20 - 30 °C	10-30 min	Prze rozczysta, 5-30 μm
Anodowanie twarde	7-15% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2-5 A/dm <sup>2</sup> , 20-120V	-10 - +10 °C (zwykle 0 °C)	15-90 min	Prze rozczysta, szara, czarna, 3-150 μm
Eloxal GXh	3-5% (COOH) <sub>2</sub>	1-2 A/dm <sup>2</sup> , 40-60V	18 - 20 °C	40-60 min	óltawa, 10-60 μm
Proces Bengough-Stuarta	2,5-3% CrO <sub>3</sub>	0,1-0,5 A/dm <sup>2</sup> , 40V	40 °C	40 min	Szara, nieprze rozczysta, 2,5-15 μm
Proces Boeinga	10% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	10-12 V	23 - 25 °C	20-30 min	Bezbarwna, 1-2 μm
Proces kondensatorowy	9-15% H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	50-500 V	90-95 °C	-	Bezbarwna

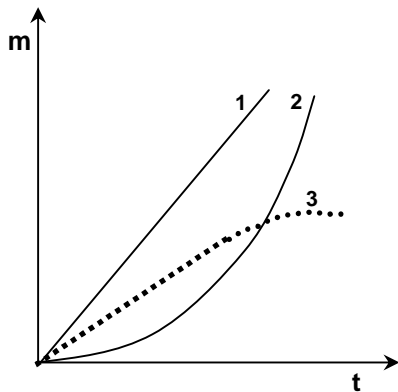
W trakcie elektrolitycznego utleniania aluminium wyróżnia się kilka etapów narastania powłoki tlenkowej:

1. powstawanie cienkiej (0,01 - 0,1  $\mu\text{m}$ ) i zwartej tzw. *warstewki zaporowej* (barierowej). Na skutek migracji jonów  $\text{Al}^{3+}$  w polu elektrycznym i ich reakcji z jonami  $\text{O}^{2-}$  lub  $\text{OH}^-$  tworzy się bezwodny  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (o dużym oporze elektrycznym).
2. przebudowa warstewki zaporowej na granicy faz: tlenek-elektrolit - powstawanie *warstewki porowatej*. Ze względu na zwiększenie objętości utworzonego tlenku w porównaniu do objętości przereagowanego metalu, w warstewce powstają naprężenia rozciągające. Prowadzi to do pojawienia się pęknięć w warstwie barierowej, co sprzyja tworzeniu się porów, do wnętrza których dyfunduje elektrolit.
3. wzrost grubości warstwy porowatej (od kilku do 150  $\mu\text{m}$ ). Na dnie porów konkurują ze sobą dwa procesy: tworzenie powłoki tlenkowej i roztwarzanie jej przez elektrolit. Prowadzi to do pogłębienia się porów i tym samym narastania warstewki w głąb metalu.

Podczas anodowania poszczególne procesy zachodzą z określoną szybkością:

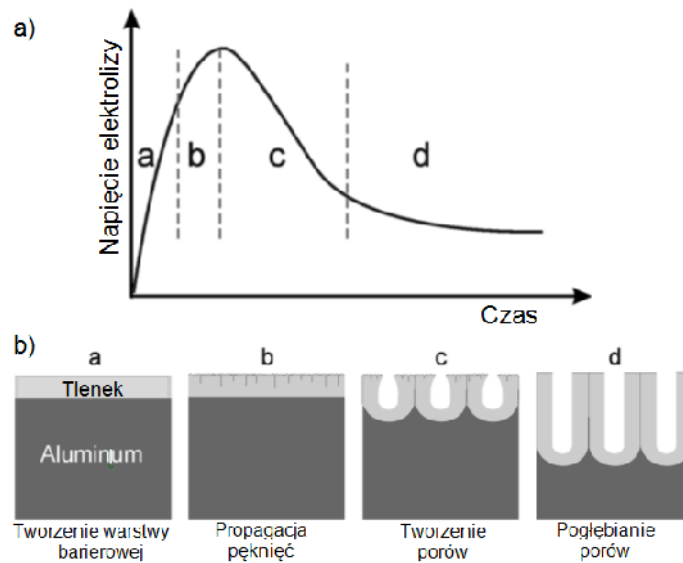
- a) *szybko tworzenia* się tlenku, przy braku reakcji ubocznych, można opisać prawem Faradaya, zgodnie z którym masa utworzonego tlenku jest wprost proporcjonalna do natężenia prądu i czasu anodowania,
- b) *szybko roztwarzania* wytworzonej już warstewki tlenkowej pod wpływem elektrolitu jest wielkością, która zależy od rodzaju elektrolitu, jego stężenia i temperatury.

Szybkość całego procesu jest wypadkową obu tych procesów, co schematycznie pokazano na rys. 10.1.



Rys. 10.1. Zależność ilości tlenku w powłoce od czasu:  
 1 – masa narastającej warstwy wynikająca z prawa Faradaya;  
 2 – masa tlenku roztwarzana przez elektrolit;  
 3 - wypadkowa masa warstewki

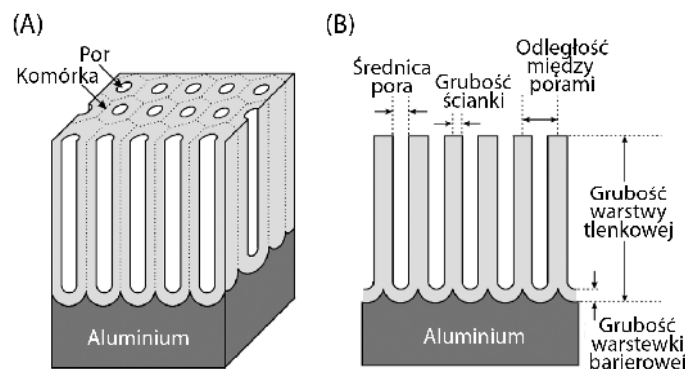
Anodowanie może być prowadzone przy zachowaniu stałej gęstości prądu lub stałego napięcia elektrolizy. Podczas procesu galwanostaticznego obserwuje się początkowo szybki wzrost napięcia elektrolizy (rys.10.2) związany z narastaniem warstwy barierowej o dużym oporze elektrycznym, po czym charakterystyka napięciowa zmienia się na skutek pojawiania się pęknięć i stopniowego przekształcania się zwartej warstewki w porowatą. W końcowym etapie napięcie stabilizuje się w wyniku osiągnięcia stanu stacjonarnego (etap pogrubiania warstwy porowatej).



Rys. 10.2. Zmiany napięcia elektrolizy w czasie anodowania aluminium przy stałej gęstości prądu (a) oraz etapy narastania warstewki tlenkowej (b).

Sztucznie wytworzone powłoki tlenkowe na aluminium są znacznie grubsze od warstewek tworzących się w sposób naturalny (kilka nm). Jednak, podobnie jak warstewki naturalne, wykazują one znakomitą przyczepność do podłoża i nie można ich usunąć z powierzchni metalu w sposób mechaniczny.

Warstwa tlenkowa na aluminium zbudowana jest z regularnie rozmieszczonych heksagonalnych komórek, wewnątrz których położony jest por (rys.10.3). Średnicę porów, odległość między porami czy grubość ścianek komórek można regulować poprzez odpowiedni dobór warunków elektrolizy. Przykładowo, w roztworach kwasu borowego uzyskuje się warstwy nieporowate; w kwasach: siarkowym, szczawiowym lub chromowym tworzą się pory o średnicy 10-20 nm, natomiast w kwasie fosforowym średnica porów wynosi 30-100 nm.



Rys.10.3. Schemat idealnej struktury porowatej warstewki tlenkowej otrzymywanej w procesie anodowego utleniania aluminium.

Dzięki charakterystycznej budowie warstewki tlenkowej (o stosunkowo regularnie rozmieszczonych porach) powierzchnia tlenku glinu jest silnie rozwinięta i posiada dobre zdolności absorpcyjne. Wykorzystuje się to w procesach barwienia w celu ochronno-

dekoracyjnego wykańczania detali aluminiowych stosowanych np. w budownictwie i transporcie.

Proces anodowego utleniania obejmuje szereg etapów:

1. **przygotowanie powierzchni** - przed anodowaniem elementy aluminiowe powinny być dokładnie oczyszczone, aby elektrolit zwilżał równomiernie całą ich powierzchnię. Z powierzchni usuwa się wszelkiego rodzaju tłuszcze oraz smary. Jeżeli wymagany jest specjalny wygląd powierzchni (np. wysoki połysk), wówczas stosuje się wstępne szlifowanie i polerowanie mechaniczne (niekiedy także polerowanie elektrolityczne lub chemiczne). Operacje odfuszczenia i trawienia prowadzi się łącznie, w gorącej kąpieli na bazie wodorotlenku sodu. Dodatki stopowe nieulegające trawieniu w roztworze alkalicznym (np. miedź, krzem) tworzą na powierzchni ciemny, nierówny osad, który usuwa w etapie rozjaśniania w odpowiednich roztworach (np. kwasu azotowego).
2. **proces anodowego utleniania** w elektrolicie dobranym odpowiednio do przeznaczenia powłoki. W trakcie anodowania na powierzchni utlenianego elementu wydzielają się duże ilości ciepła, które muszą być skutecznie odprowadzane przez sprawne mieszanie i chłodzenie kąpieli. Przy nadmiernym wzroście temperatury roztworu tworzą się powłoki tlenkowe miękkie i łatwo ściernie.
3. **barwienie powłok**<sup>4</sup> - W celu uzyskania barwnych powłok tlenkowych na aluminium stosuje się barwniki organiczne i sole nieorganiczne. Po zanurzeniu detali aluminium pokrytych powłokami tlenkowymi kąpiel barwiąca następuje dyfuzją barwnika w głąb porów, a do warstwy zaporowej. Wewnątrz powłoki barwnik zostaje zaabsorbowany na bocznych ścianach porów.  
Inny sposób stanowi technologia elektrolitycznego barwienia powłok tlenkowych. Poanodowane i wypłukane elementy aluminiowe przenosi się do roztworu soli metali (np. miedzi, niklu lub cyny) i włącza się w obwód elektrolizy jako katody. Proces prowadzi się z zastosowaniem prądu zmiennego - w cyklach katodowych następuje redukcja jonów metalu (wewnątrz porów metal osadza się w formie igiełek ułożonych prostopadle do powierzchni aluminium). Taki dwufazowy układ  $Al_2O_3$ /metal silnie absorbuje światło, co przejawia się powstaniem trwałego zabarwienia powierzchni na kolor ciemnoniebieski, szary, brązowy, czarny, złoty lub czerwony.
4. **uszczelnianie powłok** - podczas uszczelniania następuje zasklepienie porowatej powłoki tlenkowej. Po tym zabiegu powłoka uzyskuje gładką, szklaną powierzchnię, a tym samym doskonale zabezpiecza metal podłoże przed korozją. Podczas uszczelniania warstwa tlenkowa zmienia swoją budowę - tworzy się uwodniony tlenek  $Al_2O_3 \cdot H_2O$  (bemit). Reakcji tej towarzyszy powstanie (na skutek przyłączenia wody krystalizacyjnej i zmiany struktury sieci krystalicznej), które prowadzi do zamknięcia porów i wytworzenia bardzo gładkiej powierzchni. Substancje zaabsorbowane przez powłoki są w niej "uwiecznione" i nie można ich usunąć bez zniszczenia powłoki. Proces uszczelniania prowadzi się najczęściej w: gorącej wodzie (min. 96 °C; 2 min na 1 µm grubości powłoki), parze wodnej, roztworach soli (np. octanach) niklu i kobaltu. Dobrze odporność korozyjną powłoki tlenkowej można uzyskać także przez uszczelnianie w roztworach dwuchromianu sodu lub potasu (nadaje także powłokę oltawe zabarwienie).

---

<sup>4</sup> Barwne powłoki tlenkowe można uzyskać także w trakcie anodowego utleniania stosując elektrolit o specjalnym składzie (tzw. anodowanie samobarwne). Przykładowo, powłoki tlenkowe zabarwione na kolor jasno oltawy otrzymuje się przez anodowe utlenianie w roztworze kwasu szczawowego, natomiast o barwie brązowej - w roztworze kwasu sulfosalicylowego.

## CEL WICZENIA

Celem wiczenia jest:

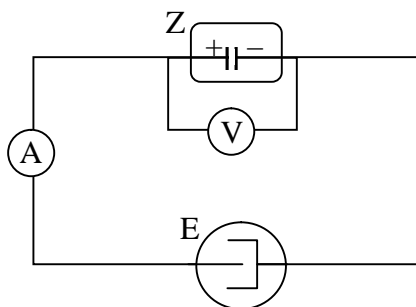
- uzyskanie powłok tlenkowych na aluminium w procesie anodowego utleniania w roztworach kwasów: siarkowego, szczawiowego, fosforowego i borowego,
- przeprowadzenie barwienia warstewek w roztworach soli nieorganicznych.

## MATERIAŁY I APARATURA

10 płytek aluminiowych	10 % $H_2SO_4$
2 płytki ołowiane	10 % $H_2C_2O_4$
elektrolizer z pokryw	10 % $H_3PO_4$
4 zlewki 100 cm <sup>3</sup>	10 % $H_3BO_3$
zasilacz (60 V)	10% NaOH
amperomierz	30% $HNO_3$
woltomierz	roztwory do barwienia powłok
mieszadło magnetyczne	96 % $C_2H_5OH$

## WYKONANIE WICZENIA

1. Anodowe warstewki tlenkowe otrzymuje się w układzie pomiarowym, którego schemat ideowy przedstawiono na rys.10.4.



Rys.10.4. Schemat układu pomiarowego

Z - zasilacz stabilizowany; E - elektrolizer; V - woltomierz ; A - amperomierz

Proces anodowego utleniania prowadzi się w 10% roztworach kwasów:  $H_2SO_4$ ,  $H_2C_2O_4$ ,  $H_3PO_4$  i  $H_3BO_3$ . Anod stanowi aluminium AA 1050 o powierzchni ok. 25 cm<sup>2</sup>. Katody wykonane są z ołowiu. Anod zawieszają dokładnie między dwiema katodami. Pomiary wykonuje się w warunkach galwanostatycznych, w temperaturze pokojowej. Stosuje się mieszanie elektrolitu za pomocą mieszadła magnetycznego.

2. Przed pomiarem próbki aluminium należy kolejno: przemyć ją papierem ciemnym, przepłukać wodą, wytrawić (pod dygestorium) w 10% roztworze NaOH (3 min), a następnie w 30%  $HNO_3$  (30 s), opłukać wodą destylowaną, alkoholem i wysuszyć w strumieniu ciepłego powietrza. Przed i po pomiarze próbki należy ją zważyć na wadze analitycznej. Uzyskane wyniki należy zanotować w tabeli 10.2.

Tabela.10.2.  
Wyniki pomiarów.

a) Zależność grubości warstewki Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> na aluminium (AA 1050) od rodzaju kwasu											
Stężenie kwasu - 10 % $i_A = 2 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$ $t_{\text{pomiaru}} = \dots \dots \dots \text{min}$ $t^\circ = \dots \dots \dots ^\circ\text{C}$											
Kwas	Pole powierzchni anody $S_A, \text{cm}^2$	Masa anody			Masa Al p.Faradaya $m_1, \text{g}$	Masa Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			Grubość warstwy tlenkowej		Wydajność procesu $\rho, \%$
		początkowa $m_p, \text{g}$	końcowa $m_k, \text{g}$	zmiana masy $\Delta m_{\text{wag}}, \text{g}$		z prawa Faradaya $m_2, \text{g}$	rozpuszczonego przez kwas $m_3, \text{g}$	w powłoce $m_4, \text{g}$	$y_1, \text{gcm}^{-2}$	$y_2, \mu\text{m}$	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>											
H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>											
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>											
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>											

b) Zależność grubości warstewki Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> na aluminium (AA 1050) od gęstości prądu											
Kwas ..... $t_{\text{pomiaru}} = \dots \dots \dots \text{min}$ $t^\circ = \dots \dots \dots ^\circ\text{C}$											
Gęstość prądu anodowego $i_A, \text{A} \cdot \text{dm}^{-2}$	Pole pow. anody $S_A, \text{cm}^2$	Masa anody			Masa Al p.Faradaya $m_1, \text{g}$	Masa Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			Grubość warstwy tlenkowej		Wydajność procesu $\rho, \%$
		początkowa $m_p, \text{g}$	końcowa $m_k, \text{g}$	zmiana masy $\Delta m_{\text{wag}}, \text{g}$		z prawa Faradaya $m_2, \text{g}$	rozpuszczonego przez kwas $m_3, \text{g}$	w powłoce $m_4, \text{g}$	$y_1, \text{gcm}^{-2}$	$y_2, \mu\text{m}$	
1											
2											
3											

3. Należy przeprowadzić dwie serie pomiarowe:
  - a) wpływ rodzaju kwasu na grubość warstwek tlenkowych – pomiary wykonuje się w 10% roztworach kwasów z zachowaniem stałej anodowej gęstości prądu  $2 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$  i czasu utleniania 20 min.
  - b) wpływ gęstości prądu anodowego utleniania na grubość powstających warstwek tlenkowej w wybranym kwasie - stosowane gęstości prądu:  $1-3 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$ ; czas utleniania 20 min.

UWAGA: W czasie pomiarów należy mierzyć napięcie elektrolizy co 15 s.

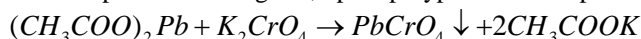
4. Uzyskane bezbarwne powłoki należy poddać barwieniu solami nieorganicznymi (barwienie dwu- lub jednostopniowe). Przykładowe warunki barwienia podano w tabeli 10.3. Poanodowane próbki umieszcza się w odpowiednich roztworach na okres kilku minut, po czym płucze wodą destylowaną (takie jako etap pośredni w barwieniu dwustopniowym) i suszy.

Tabela 10.3.

Warunki barwienia powłok tlenkowych na aluminium

Nr	Skład roztworu	Temperatura	Czas	Zabarwienie*
1	$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} - 15 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ następnie w: $\text{K}_2\text{CrO}_4 - 15 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$	30 – 60 °C	5-20 min	ólte
2	$\text{CuSO}_4 - 15 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ następnie w: $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 - 15 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$	30 - 60 °C	3-15 min	brązowe z odcieniem czerwonym
3	$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Co} \cdot 4\text{H}_2\text{O} - 10 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ następnie w: $\text{KMnO}_4 - 10 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$	40 - 60 °C	3-15 min	brązowe
4	$\text{FeCl}_3 - 15 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ następnie w: $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 - 15 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$	30 - 60 °C	3-15 min	niebieskie
5	$\text{Fe}(\text{NH}_4)_3(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} - 15 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$	40 - 90 °C	15s - 5 min	żółtawe
6	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - 15 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ $\text{KMnO}_4 - 10 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$	40 - 60 °C	3-15 min	czarne

\* Zabarwienie powłoki związane jest z wytrącaniem się trudno rozpuszczalnych soli nieorganicznych lub tlenków metali w porach tlenku glinu, np. w przypadku dwukolorowego barwienia (Nr 1) zachodzi reakcja:



## OPRACOWANIE WYNIKÓW

1. W procesie anodowego utleniania, zmiana masy aluminium jest związana z zachodzącymi na anodzie procesami: tworzenia warstewki i wtórnym roztwarzaniem wytworzonej powłoki przez elektrolit. Zmiana masy anody aluminiowej jest wypadkową tych dwóch procesów:
  - W trakcie przepływu prądu, anoda Al ulega roztwarzaniu wg reakcji:





co powoduje zmniejszenie wyjściowej masy Al  $m_p$  o wielkość  $m_1$  wynikającą z prawa Faradaya:

$$m_1 = \frac{M_{\text{Al}}}{z \cdot F} \cdot I \cdot t \quad (10.4)$$

gdzie:  $M_{\text{Al}}$  - masa molowa glinu;  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$I$  - natężenie prądu, A,

$t$  - czas pomiaru, s,

$z$  - liczba elektronów uczestniczących w elementarnej reakcji elektrodowej;

$F$  - stała Faradaya,  $F = 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

- Równocześnie powstaje  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o masie  $m_2$  odpowiadającej ilości roztworzonego metalu:

$$m_2 = m_1 \cdot \frac{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{2M_{\text{Al}}} \quad (10.5)$$

gdzie:  $M_{\text{Al}_2\text{O}_3}$  - masa molowa  $\text{Al}_2\text{O}_3$

- Powstająca warstwa tlenkowa ulega następnie czciowemu roztworzeniu w elektrolicie). Jeśli masa roztworzonego  $\text{Al}_2\text{O}_3$  odpowiada wielkości  $m_3$ , masa końcowa anodowo utlenionej próbki aluminium wynosi  $m_k$ :

$$m_k = m_p - m_1 + m_2 - m_3 \quad (10.6)$$

- Masa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pozostającego na powierzchni próbki jest równa  $m_4$ :

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = m_4 = m_2 - m_3 \quad (10.7)$$

Wartość  $m_2$  można wyliczyć z zależności (10.7), natomiast  $m_3$  z równania:

$$m_3 = -m_k + m_p - m_1 + m_2 = -\Delta m_{\text{wag}} - m_1 + m_2 \quad (10.8)$$

gdzie:  $\Delta m_{\text{wag}} = m_k - m_p$

- Grubość warstwy tlenkowej wynosi:

$$y_1 = \frac{m_4}{S} \quad \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \quad (10.9)$$

lub

$$y_2 = \frac{m_4}{S \cdot d} \cdot 10^4 \quad \mu\text{m} \quad (10.10)$$

gdzie:  $d$  - gęstość  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $3,1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Wyniki uzyskane w obliczeniach należy zanotować w tabeli 10.2.

2. Na podstawie uzyskanych wyników należy wyliczyć anodowy wydajność procesu. Wydajność procesu anodowego utleniania aluminium zdefiniowano jako stosunek masy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  w warstwie do masy tlenku wynikającej z prawa Faradaya  $\eta_p$ :

$$\eta_p = \frac{m_4}{m_2} \cdot 100\% \quad (10.11)$$

Wyniki uzyskane w obliczeniach należy zanotować w tabeli 10.2.

3. W zależności od zakresu wykonanych pomiarów, wyniki należy przedstawić na odpowiednich wykresach:

a. **Zale no grubo ci warstewki  $Al_2O_3$  od rodzaju kwasu** w warunkach:  $c = const$ ,  $t_{pomiaru} = const$ ,  $i_A = const$ :

- $y_1 = f(K)$ ,  $y_2 = f(K)$  - wykresy słupkowe
- $p = f(K)$  - wykres słupkowy
- $U = f(t)$

b. **Zale no grubo ci warstewki  $Al_2O_3$  od g sto ci pr du anodowego** w warunkach:  $i_A = const$ ,  $t_{pomiaru} = const$ ,  $c = const$ ,  $K=const$

- $m_{Al_2O_3} = f(c)$  - na wykresie tym przedstawia si zale no ci  $m_2$ ,  $m_3$  oraz  $m_4$  od g sto ci pr du
- $y_1 = f(c)$ ,  $y_2 = f(c)$
- $p = f(c)$
- $U = f(t)$

4. Nale y opisa przebieg barwienia uzyskanych powłok.
5. Przedstawi interpretacj i dyskusj uzyskanych wyników.

## **Literatura**

1. Biestek T., Weber J., *Powłoki konwersyjne*, WNT, Warszawa, 1968
2. Totten G.E., MacKenzie D.S., *Handbook of aluminum*, Marcel Dekker Inc., New York, 2003
3. Eftekhari A., *Nanostructured materials in electrochemistry*, Wiley-VCH, Weinheim, 2008