

## **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Bąka**

pt.: „WŁAŚCIWOŚCI IZOLACYJNE ELEKTROLITYCZNYCH WARSTW  
TLENKOWYCH NA ALUMINIOWYCH TAŚMACH UZWOJEŃ ELEKTRYCZNYCH  
PODZESPOŁÓW POJAZDÓW”

### **Podstawa prawna**

Niniejszą recenzję opracowano na podstawie umowy o dzieło nr UD/34/RM0/2016 z dnia 6 września 2016 roku zawartej między Wydziałem Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej a recenzentem, wynikającej z konieczności poprawy przez Doktoranta zbyt wielu wykazanych w pierwszej recenzji błędów, obniżających istotnie wartość rozprawy doktorskiej.

W odpowiedzi na pierwszą recenzję, Doktorant przedstawił do recenzji poprawioną wersję rozprawy doktorskiej (wraz z wykazem wprowadzonych poprawek), która stanowi przedmiot aktualnie opracowanej recenzji.

Uprzedzając zawartą poniżej szczegółową analizę rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Bąka, w konkluzji przedstawiam pozytywną opinię, rekomendując dopuszczenie Autora do dalszych procedur postępowania o nadanie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

### **1. Charakterystyka ogólna rozprawy**

Opiniowana rozprawa doktorska została zredagowana w zwartej formie na 137 stronach tekstu wraz ze spisem tabel oraz rysunków. Na potrzeby recenzenta dołączono również zapis rozprawy na płytce CD. Treść rozprawy przedstawiono w 9 rozdziałach kończących się spisem literatury.

Rozdziały dziesiąty i jedenasty obejmują odpowiednio spis tabel oraz rysunków. Na końcu rozprawy opracowano streszczenie w języku polskim i angielskim.

W części zasadniczej rozprawy zamieszczono 96 rysunków, 22 tabele i 15 wzorów.

**Rozdział pierwszy** rozprawy obejmuje wprowadzenie, w tym cel i zakres pracy, tezę oraz plan pracy. W tym rozdziale Autor przedstawił genezę podjęcia tematu rozprawy doktorskiej oraz celowość i potrzebę prowadzenia badań procesu elektrolitycznego utleniania taśm aluminiowych w aspekcie ich aplikacji w urządzeniach elektromagnetycznych dających możliwość wyeliminowania konieczności stosowania przekładek izolacyjnych. Rozdział pierwszy kończy się planem pracy w formie graficznej.

W **rozdziale drugim** przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat wykorzystania konwencjonalnych materiałów przewodzących prąd elektryczny, głównie miedzi i aluminium oraz materiałów elektroizolacyjnych na bazie preszpanu, wykazując przy tym zalety i wady wymienionych materiałów.

W **rozdziale trzecim** omówiono nowe trendy elektromagnetycznego sterowania pracą zaworów w silnikach spalinowych pojazdów samochodowych. W tym aspekcie podano przykłady potencjalnego wykorzystania cewek elektrycznych z uzwojeniem wykonanym z utlenionych elektrolitycznie taśm aluminiowych eliminujących konieczność stosowania przekładek izolacyjnych. Innym przykładem zastosowania utlenionych elektrolitycznie taśm aluminiowych bez przekładek izolacyjnych mogą być elektromagnesy przenośników złomu stalowego w przemyśle hutniczym. Zdaniem Autora, takie rozwiązanie daje możliwość 50% ograniczenia masy wymienionych urządzeń elektromagnetycznych.

W rozdziale tym zawarto także ważną analizę danych literaturowych dotyczących wpływu składu chemicznego różnych elektrolitów i ich temperatury, gęstości prądu oraz uzyskiwanych grubości warstw tlenkowych na wartość napięcia przebicia utlenionych taśm i drutów aluminiowych.

Z przytoczonych przez Autora danych literaturowych wynika również, że mierzona wartość napięcia przebicia zależy nie tylko od grubości warstwy tlenkowej, ale także od warunków pomiaru, w tym temperatury pomiaru, powierzchni styku i wielkości nacisku elektrody pomiarowej.

Wartościowe pod względem aplikacyjnym są dane dotyczące wpływu procesu zginania utlenionej elektrolitycznie taśmy aluminiowej na wartość badanego napięcia przebicia.

Na **początku rozdziału czwartego**, zatytułowanego „Elektrolityczne warstwy tlenkowe”, podano ogólne zastosowanie anodowych warstw tlenkowych na aluminium. Dalej Autor omawia procesy stacjonarnego i ciągłego anodowego utleniania aluminium, przedstawia także mechanizm, zjawiska towarzyszące procesowi elektrolitycznego utleniania oraz budowę uzyskanej w ten sposób warstwy tlenkowej. Wynika z tego, iż warstwy tlenkowe na aluminium są z reguły porowate, a wielkość i kształt porów zależy w głównej mierze od

rodzaju i stężenia elektrolitu, jego temperatury, gęstości prądu oraz czasu anodowania. Wielkość i kształt porów przekłada się bezpośrednio na zdolności elektroizolacyjne warstw tlenkowych na aluminium. Dokonano analizy możliwości wykorzystania warstw tlenkowych na aluminium jako powłok elektroizolacyjnych. Przedstawiono również metody i metodykę badań względnej odporności materiałów elektroizolacyjnych na przebicie w warunkach wyładowań powierzchniowych.

W tym rozdziale opisano także odporność na korozję i zużycie tribologiczne warstw tlenkowych wytworzonych na aluminium i jego stopach. Podtrzymuję wcześniejszą oceną, iż wiadomości te są powszechnie znane i nie wiążą się bezpośrednio z tematyką pracy.

**Rozdział piąty** to badania własne, w których Autor przedstawił cel i zakres badań, plan badań doświadczalnych, metodykę pomiaru napięcia przebicia warstwy tlenkowej i przygotowanie próbek do badań, warunki, przebieg oraz wyniki badań napięcia przebicia wytworzonych anodowych warstw tlenkowych. W dalszej części badań własnych przedstawiono:

- mechanizm punktowego i wielokrotnego przebicia anodowych warstw tlenkowych,
- procedury i wyniki badań dyfuzyjności oraz topografii powierzchni warstw tlenkowych,
- wyniki badań mikroskopowych warstw tlenkowych,
- metodykę i wyniki badań wpływu zginania na jednostkowe napięcie przebicia warstw tlenkowych,
- oraz ogólne zestawienie wyników badań zasadniczych anodowych warstw tlenkowych.

**W rozdziale szóstym** omówiono metody zwiększania odporności elektrycznej warstw tlenkowych na aluminium za pomocą uszczelniania oraz nanoszenia powłok silanowych. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uszczelnianie w gotującej wodzie warstw tlenkowych wyraźnie podnosi wartość napięcia przebicia. Natomiast wykorzystanie powłok silanowych nie wykazało istotnego wpływu na poprawę właściwości izolacyjnych warstw tlenkowych na aluminium.

**W rozdziale siódmym** dokonano omówienia wyników badań dotyczących wpływu parametrów utleniania na grubość i izolacyjne właściwości elektryczne oraz na dyfuzyjność i topografię powierzchni anodowych warstw tlenkowych. Omówiono także korelację między liczbą wierzchołków chropowatości i napięciem przebicia, korelację między liczbą wierzchołków chropowatości i dyfuzyjnością oraz dyfuzyjnością i napięciem przebicia anodowych warstw tlenkowych. Przeprowadzono także analizę wyników badań napięcia przebicia i dyfuzyjności warstw tlenkowych, omówiono samosterowność procesu anodowania oraz jednostkowe napięcie przebicia taśm aluminiowych z warstwą tlenkową po ich odkształceniu pod wpływem zginania.

**Rozdział ósmy** stanowi podsumowanie i pięć wniosków końcowych.

**Rozdział dziewiąty** to wykaz 89 pozycji literaturowych, wśród nich cztery współautorstwa Doktoranta.

## **2. Szczegółowa analiza rozprawy**

### **2.1. Uwagi merytoryczne i dyskusyjne**

**Podjęta przez Autora tematyka** dotyczy głównie wpływu procesu elektrolitycznego wytwarzania warstw tlenkowych na właściwości elektroizolacyjne (napięcie przebicia) taśm aluminiowych stosowanych na uzwojenia w urządzeniach elektromagnetycznych.

Biorąc pod uwagę, iż z natury warstwy tlenkowe na aluminium stanowią barierę izolacyjną dla przepływu prądu elektrycznego słusznie założono, iż wytwarzając elektrolitycznie warstwy tlenkowe o odpowiedniej grubości, mikrostrukturze i topografii powierzchni oraz wysokim napięciu przebicia, można będzie w niektórych urządzeniach elektromagnetycznych wyeliminować konieczność stosowania przekładek izolacyjnych, wytwarzanych zazwyczaj z materiałów na bazie preszpanu. W konsekwencji bezpośredniego zastosowania samo-izolujących się taśm lub drutów aluminiowych w uzwojeniach elektrycznych należy oczekiwać zmniejszenia masy i kosztów wytwarzania urządzeń elektromagnetycznych.

**Teza rozprawy**, stwierdza, iż „Właściwości izolacyjne elektrolitycznych warstw tlenkowych, w tym napięcie przebicia, zależą w istotny sposób od budowy i geometrii ich powierzchni, dlatego jest możliwe zwiększenie napięcia przebicia przez przeprowadzenie optymalizacji topografii powierzchni, tj. zmniejszenie liczby wierzchołków nierówności przez dobór odpowiednich parametrów anodowania”.

**W tym miejscu należy zauważyć**, iż przyjęta przez Autora teza rozprawy sugeruje, iż głównym czynnikiem decydującym o wysokości napięcia przebicia anodowych warstw tlenkowych na aluminium jest topografia ich powierzchni.

Jednocześnie w drugim wniosku końcowym Autor pisze, iż „napięcie przebicia ( $U$ ) anodowych warstw tlenkowych zależy od grubości warstwy tlenku i topografii jego powierzchni, jest wprost proporcjonalne do grubości i wysokości wierzchołków, a odwrotnie proporcjonalne do ich ilości oraz zależy od struktury, tj. średniej średnicy porów”.

Ten wniosek Autora oraz wykazany wpływ grubości warstw tlenkowych poddanych procesom zginania na jednostkową wartość napięcia przebicia utwierdza mnie w przekonaniu, iż teza pracy miałaby pełniejsze i mniej domyślne brzmienie w postaci: „Właściwości izolacyjne elektrolitycznych warstw tlenkowych, w tym napięcie przebicia, zależą nie tylko od ich grubości, ale także w istotny sposób od budowy warstw i geometrii ich powierzchni. Dlatego możliwe jest zwiększenie napięcia przebicia przez przeprowadzenie optymalizacji obejmującej synergiczny wpływ grubości i topografii powierzchni warstw tlenkowych (zmniejszenie liczby wierzchołków nierówności) przez dobór odpowiednich warunków i parametrów anodowania”.

**Głównym celem badań** Autora było sprawdzenie przyjętej tezy oraz opracowanie warunków i parametrów procesu elektrolitycznego wytwarzania powłok tlenkowych na taśmach aluminiowych, przyjmując jako kryterium uzyskanie optymalnej odporności na przebicie (wysokiego napięcia przebicia) w warunkach elektrycznych wyładowań powierzchniowych. *W tym miejscu stwierdzam poprawność przedstawionego celu rozprawy.*

**Zakres badań własnych** (str. 53), Autor wymienia i zalicza do zakresu badań (cytuje):

- materiały: taśmy wykonane z EN AW-1050A o grubości 0,2 i 0,5 mm, stosowane na uzwojenia urządzeń elektrycznych,
- elektrolit na bazie kwasu siarkowego o stężeniu: 5%, 10% i 15%,
- parametry procesu, j, C, t.

*Nadal w mojej ocenie (podkreśliłem to w pierwszej recenzji) nie stanowi to zakresu badań – proszę o ustosunkowanie się Autora do tej kwestii.*

**W przygotowaniu próbek** do pomiarów (str. 60) podano skład chemiczny materiału EN AW-1050A przyjęty z normy PN-EN 515 i określono jego stan H24 jako odpuszczony.

**Wymieniona norma nie obejmuje dla stopów aluminium takiego stanu umocnienia.**

W p. 5.4.4 (str. 64), dotyczącym mechanizmu punktowego przebicia anodowych warstw tlenkowych Autor pisze, że elektrody stożkowa i cylindryczna umożliwiły w sposób kontrolowany wybór punktu przebicia (rys. 42) – proszę o wyjaśnienie tego stwierdzenia.

W p. 5.6.1 (str.74, ostatnie zdanie), Autor podaje, że ciemne czerwone plamki przedstawiają obszar niemierzalny przy dobranych parametrach procesu. Dotyczy to także rys. 54 i tab. 16 – proszę o wyjaśnienie tego opisu.

W p. 5.7.2 (str. 82, ostatnie zdanie), sądzę że bardziej trafne byłoby stwierdzenie dotyczące wniosku (cytuje) „....., że utlenianie powinno być wykonane tak, aby uzyskać warstwy

charakteryzujące się niewielką średnicą porów". Sądzę, że można śmiało napisać: jak najmniejszą średnicą porów.

W tab. 17 mikrostruktura większości przekrojów warstw tlenkowych nadal jest niewystarczająco widoczna. ***Proszę o wyjaśnienie czym są punktowe, drobne, globularne obiekty widoczne w mikrostrukturze powierzchni warstw tlenkowych (tab. 17).***

Bardzo istotne z analitycznego punktu widzenia zdjęcia przekroju poprzecznego próbek utlenionych po zginaniu (rys. 79), są wykonane przy zbyt małym powiększeniu i trudno doszukać się w nich istotnych szczegółów, jak chociażby pęknięcia i nieciągłości. W dwóch przypadkach brak jest obrazu próbek, występują natomiast wyłącznie skale powiększenia.

W p. 5.9 (str. 99) zestawiono w tab. 19 wyniki badań zasadniczych, bez ich analizy, czy też krótkiego podsumowania tej części badań.

W p. 7.8 (str. 116), po tab. 21 dotyczącej zestawienia współczynników korelacji  $R_p$  i odchylenia standardowego  $\sigma$  dla różnych typów wykresów  $U_p = f(R_p)$ , należałoby dokonać podsumowania, którego celem byłoby wskazanie najlepszego dopasowania opisu matematycznego w tej zależności.

Czy w warunkach i parametrach próby 10 podanych w tab. 19 (nawiązanie do stwierdzenia na str. 117) proces ciągłego anodowania aluminium w praktyce, może odbywać się samosterownie?

W ostatnim zdaniu na str. 117 Autor stwierdza, .... że odkształcenia AWT wywołują spadek właściwości izolacyjnych, lecz pomimo tego spadku zachowują one właściwości izolacyjne na wystarczającym poziomie do zastosowań w przemyśle motoryzacyjnym". ***Na jakich kryteriach oparte jest to stwierdzenie?***

W tab. 22 (str. 120), wartość  $d$  – grubość warstwy wyrażona jest w nm, zaś  $D_p$  – średnica porów tlenku w  $\mu\text{m}$  - powinno być odwrotnie.

***Proszę o wyjaśnienie relacji wniosku nr 4 ze stwierdzeniem zawartym w ostatnim zdaniu na str. 121, dotyczących zależności jednostkowego napięcia przebicia od dyfuzyjności anodowej warstwy tlenkowej.***

W przytoczonej skromnej jak na rozprawę doktorską literaturze nie włączono do spisu i nie uwzględniono w analizie literatury prac P. Tomassiego i W, Skonecznego związanych z tematyką anodowego utleniania.

## **2.2. Inne uwagi recenzenta**

Autor rozprawy doktorskiej nie ustrzegł się szeregu błędów edytorskich i stylistycznych występujących na str. 7, 24-27, 29, 36, 40, 45, 46, 53, 63-64, 116.

Na str. 37 – występuje nieaktualne oznaczenie mikrotwardości.

Na str. 71-72, 80-81, 108-113 - podpisy pod rys. i tekst nie zawierają oznaczeń w skali unormowanej.

## **3. Oryginalność naukowa rozprawy**

Zdaniem recenzenta, oryginalność recenzowanej rozprawy doktorskiej przejawia się w podjętej tematyce związanej z badaniami właściwości izolacyjnych elektrolitycznych powłok tlenkowych wytworzonych na taśmach aluminiowych w aspekcie możliwości ich bezpośredniego wykorzystania w urządzeniach elektromagnetycznych, bez konieczności stosowania dodatkowych materiałów izolacyjnych.

Uzupełnieniem tego punktu widzenia jest opracowanie przez Autora własnej metodyki badań oraz stanowisk do punktowego i powierzchniowego z uwzględnieniem zginania pomiaru wielkości napięcia przebicia dla wytworzonych przy różnych parametrach powłok tlenkowych na aluminium. Niektóre wyniki z przeprowadzonych badań oraz ich analiza mogą mieć znaczenie użytkowe.

## **4. Wniosek końcowy recenzenta**

Doktorant na podstawie dokonanej analizy stanu wiedzy teoretycznej i doświadczeń własnych sformułował problem naukowy w postaci tezy, określił cel badań eksperymentalnych, współdziałał w skonstruowaniu testerów do badań punktowego i powierzchniowego napięcia przebicia z uwzględnieniem odkształcenia utlenionych elektrolitycznie taśm aluminiowych. Opracował metodykę badań, dokonał analizy wyników badań uzyskanych z wykorzystaniem tych urządzeń oraz przedstawił ogólnie właściwe wnioski końcowe.

W konkluzji recenzji stwierdzam, iż wykazane uwagi merytoryczne i dyskusyjne oraz błędy edytorskie w przedstawionej przez mgr inż. Łukasza Bąka rozprawie doktorskiej nie umniejszają jej wartości w świetle aktualnej ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw nr

65, poz. 595) i wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. K.' or similar, written in a cursive style.