

## RECENZJA

pracy doktorskiej mgr. inż. Arkadiusza Sobczyka „*Powstawanie struktur węglowych w stałonapięciowym wyładowaniu elektrycznym w układzie igła-płyta w przepływającej mieszaninie argonu z cykloheksanem*”

wykonana na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Maszyn Przepływowych im.  
Roberta Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk z dn. 10.08.2023r.

### Charakterystyka pracy

Praca doktorska mgr. Arkadiusza Sobczyka została wykonana pod opieką profesora dr hab. inż. Anatola Jaworka w IMP PAN. Tematyka pracy dotyczy zilustrowania możliwości wykonania ilościowych pomiarów prędkości narastania depozytu, składu chemicznego i koncentracji składników w trakcie wyładowań elektrycznych w przepływającym gazie zawierającym węglowodory. Celem pracy było poznanie mechanizmów syntezy mikro i nanostruktur węglowych powstających na elektrodach. W tym celu wykonano badania wyładowań elektrycznych w mieszaninie cykloheksanu i argonu dla konfiguracji elektrod igła – płyta, stosując zasilanie elektrod wysokim napięciem stałym. Gaz nośny zawierający węglowodory przepływał prostopadle do osi elektrod. W wyniku tych eksperymentalnych badań Autor stwierdził, że optymalny wzrost włókna węglowego występuje dla wyładowania elektrycznego jarzeniowego przy dodatniej polaryzacji elektrody wyładowczej.

Rozprawa zawiera 184 strony, ponad 360 pozycji literaturowych w tym 10 publikacji własnych i współautorskich związanych z tematyką pracy i ponad 50 innych publikacji Autora. Przedstawiona do oceny praca składa się z 6 rozdziałów. Na początku pracy sformułowano problem badawczy rozprawy jako określenie warunków koniecznych do powstawania struktur węglowych w stałoprądowym wysokonapięciowym wyładowaniu elektrycznym w mieszaninie węglowodoru (cykloheksanu) i gazu nośnego (argonu). Przeprowadzona przez Doktoranta analiza literatury badań nad powstawaniem struktur węglowych, w szczególności w słaboprądowej wysokonapięciowej plazmie wyładowania elektrycznego obejmuje najczęściej stosowane metody generacji plazmy umożliwiające otrzymywanie pożądaných struktur węglowych. Na podstawie

literatury przedstawiono podstawowe właściwości fizyczne otrzymywanych struktur węglowych w zależności od zastosowanej technologii. W rozdziale trzecim Autor pracy omawia podstawy fizyczne wyładowań elektrycznych w gazach, zwłaszcza wyładowań słaboprądowych, zasilanych wysokim napięciem. W następnym rozdziale przedstawia opis techniczny wykorzystywanego stanowiska badawczego oraz opisuje procedury i metody analityczne stosowane w badaniach, aparaturę badawczą używaną zarówno w eksperymentach jak i w badaniach właściwości fizycznych otrzymywanych struktur węglowych.

Rozdział 5 jest podstawowy dla całej rozprawy, zawiera wyniki własnych badań eksperymentalnych, stanowiących główne osiągnięcie Doktoranta. W podrozdziale 5.1 Autor przedstawił wyniki związane z badaniem charakterystyk prądowo-napięciowych i wpływ takich parametrów jak natężenie prądu elektrycznego wyładowania, odległości międzyelektrodowej i stężenia cykloheksanu na wlocie do komory wyładowczej na morfologię otrzymanych struktur węglowych. Kolejny podrozdział obejmuje opis metodologii badania wzrostu struktur węglowych w wyładowaniu w mieszaninie argonu i par cykloheksanu. Doktorant przeprowadzał analizę zdjęć mikroskopowych SEM depozytów otrzymanych na elektrodach w wyładowaniu elektrycznym w zależności od natężenia prądu wyładowania, stężenia procentowego cykloheksanu na wlocie do komory wyładowczej oraz odległości międzyelektrodowej. Wyniki przeprowadzonych przez Doktoranta analiz wskazują, że w zależności od natężenia prądu i odległości międzyelektrodowej otrzymane struktury miały gładką powierzchnię lub porowatą pokrytą nanościanami węglowymi. Kolejny podrozdział tej części pracy zawiera wyniki badań chromatograficznych produktów gazowych powstających w wyładowaniu elektrycznym w mieszaninie par cykloheksanu z argonem i analizę wpływu natężenia prądu wyładowania, odległości międzyelektrodowej oraz stężenia procentowego cykloheksanu na wlocie do komory wyładowczej na powstające produkty gazowe. Doktorant w tych badaniach stwierdził, że głównymi produktami rozpadu cykloheksanu są: wodór, etylen i metan. W następnym podrozdziale opisuje pomiary widm emisyjnych wyładowania podczas powstawania struktur węglowych. Określił jak natężenie prądu wyładowania, odległość międzyelektrodowa oraz stężenie procentowe cykloheksanu na wlocie do komory wpływa na temperaturę wierzchołka depozytu i temperaturę wzbudzenia. W wyniku tych pomiarów Doktorant określił jakościowo produkty powstające podczas rozkładu cykloheksanu w wyładowaniu elektrycznym i ich wpływ na wzrost struktur węglowych. Następnie przedstawił badania rozkładu wielkości cząstek powstających w kolumnie plazmowej wyładowania elektrycznego w mieszaninie par cykloheksanu i argonu, mierzone na wylocie z komory wyładowczej. Cykl pomiarów przeprowadzanych przez Doktoranta zamykają badania widm Ramana produktów powstających w wyładowaniu elektrycznym w mieszaninie par cykloheksanu z argonem. Na tej podstawie Autor

określił wpływ natężenia prądu wyładowania, odległości międzyelektrodowej i stężenia cykloheksanu na wlocie do komory wyładowczej na strukturę otrzymanego depozytu. Wykrył, że obok pasm Ramana D 1310  $\text{cm}^{-1}$  i 1600  $\text{cm}^{-1}$  pojawia się pasmo 2D związane z warstwą grafenową powstałą na depozycie. Ten wynik ma istotne znaczenie w wykazaniu celu pracy, który podsumowano w rozdziale 6 omawiając uzyskane wyniki i sformułowano wnioski odnośnie tezy rozprawy i kierunki dalszych prac.

## Ocena pracy

Przestawiona praca doktorska jest wynikiem przemyślanej i dojrzałej kompetencji Autora, który stwierdził brak w badaniach fizyko-chemicznych głębszej wiedzy na temat mechanizmów wzrostu włókien węglowych przy wyładowaniu elektrycznym w atmosferze cykloheksanu. Jak można się domyślać jednym z celów praktycznych wynikającym z tej pracy może być opracowanie metody przemysłowej dla masowego wytwarzania struktur grafenowych. Poszczególne rozdziały pracy naświetlają czytelnikowi stan wiedzy, metodykę badań i szczegóły stanowiska doświadczalnego pozwalającego na zgromadzenie podstawowych informacji o zachodzących zjawiskach towarzyszących władowaniu elektrycznemu w atmosferze cykloheksanu rozrzedzonego gazem obojętnym (argonem). Zaprezentowana dogłębna analiza produktów i warunków procesu tworzenia struktur węglowych stanowi główne osiągnięcie tej pracy. Nie ulega wątpliwości, że **cel pracy został osiągnięty**.

Pojawia się natomiast pytanie dlaczego zbudowano tak niedoskonałe stanowisko badawcze, które uniemożliwia zachowanie stałych parametrów przepływu, równomierność narastania struktur i lokalne pomiary pól temperatury i prędkości przepływu.

Nie wystarczą do przekonania czytelnika pracy atrakcyjne obrazki wytwarzanych struktur 5.2.1 i 5.2.2, w dodatku bez wskazania czasu wyładowania, dla scharakteryzowania przebiegu procesu. Tym bardziej obawy może rodzić uwaga o pojawiającej się oleistej warstwie na elektrodzie płaskiej.

Autor stwierdza (str. 73), że największa energia naładowanych cząstek w kolumnie plazmowej to moment pojawienia się nanościanek węglowych. Skąd ten wniosek, chyba brzmi zbyt prosto.

Z czego wynika optymalna odległość międzyelektrodowa 3,55 mm przy prądzie wyładowania 1,6 mA (str. 93) dla powstawania depozytu pokrytego nanościanami, jest jakaś powiązana z tym faktem przewodnia reguła i czy to przypadek wynikający ze schematu zmian parametrów pomiarowych.

Bardzo pozytywna opinia recenzenta na temat treści i zakresu wykonanych w pracy doktorskiej badań zostaje niestety zaburzona niedoskonałościami edytorskimi, wprowadzającymi dla czytającego dodatkowe nieuzasadnione wymagania dotyczące śledzenia pomyłek, odnośników literaturowych, podpisów pod tabelami czy rysunkami. Postaram się krótko wymienić listę problemów manuskryptu.

- Częste błędne używanie przecinka w zdaniach złożonych, zamienne używanie kropki zamiast przecinka w ułamkach dziesiętnych, błędy tzw. maszynowe w pisowni.
- Brak spisu oznaczeń, symboli, używanych w tekście skrótów, co oznacza WSNW - str. 19, ICP – str. 23 i wiele innych przypadków, które byłyby wyjaśnione.
- Rys. 3.4 – nie widać rozkładu potencjału oraz pola, błąd w odsyłaczu (jest 2.4).
- Niektóre rysunki powinny mieć dodane w podpisie „badania własne”, np. 3.1. W trakcie czytania tekstu nie jest to takie jasne.
- Niektóre wykresy są trudne do odczytania, dlatego tak oszczędnie stosowano kolor do wykresów (por. 5.14, 5.1.11, 5.5.2, 5.5.3, 5.5.4, 5.5.9, 5.5.10 itp).
- Co oznacza rys. 5.1.16, na jakiej podstawie te dane.
- Podpis pod rys. 5.1.19, 5.1.20, 5.1.21 – brak 1% i 2%.
- Rys. 5.2.1 i 5.2.2 – jaki jest czas tworzenia się tego depozytu?
- Rys. 5.2.4, 5.2.5, dlaczego nie zachowano tej samej skali lub jej brak.
- Rys. 5.2.6 – kiedy ta prędkość była mierzona
- Str. 80 brak w spisie literatury Sobczyk i Jaworek 2009.
- Str. 81 brak w spisie literatury Massuer 1984.
- Rys. 5.2.9 na osi Y dodać „Objętościowa ...”.
- Str. 83, brak w spisie literatury Mansurov 2005.
- Tytuł 5.2.3.3 – czy dotyczy igły czy płyty?
- Wstęp do 5.3, styl do poprawy.
- Str. 107 Slovetsky 1985, w spisie literatury jest rok 1988.
- Str. 108, brak w spisie literatury Zsely 2004.
- Str. 109, brak w spisie literatury Aribke i Susu 1988.
- Tabela 5.4.1 – czy to badania własne?
- Str. 125, brak w spisie literatury Bratescu 2006.
- Str. 129, brak w spisie literatury Nemes 2005, Choudhuri 2006, Richter 2000, Harilal 1997, Saito 1984, Boye 2002, Orszag 2017.
- Str. 130 jak wyżej
- Str. 132 brak w spisie literatury Winter 2009, Catherine 1990.

- Str. 133, brak w spisie literatury Vandesaden 2004, Rebeao 2004, Rasokova 2006.
- Str. 145, Wetering 2011 w spisie literatury jest 2012.
- Str. 146, brak w spisie literatury Slovetskii 2006.
- Str. 148, brak w spisie literatury Raya 2013, Iyelya 2007.

Do negatywnych uwag trzeba dodać złe wykonanie spisu literatury: brak numeracji i liczne brakujące pozycje. Wydaje się, że fragmenty tekstu pracy pochodzą z innych opracowań i Doktorant nie wkleił cytowań (strony 68,73, 112-156), a nawet pojawiają się numeracje literaturowe w nawiasach klamrowych np. [34] str. 112,116, [35] str. 118.

Recenzent miał trudności w sprawdzeniu czy wszystkie pozycje spisu były cytowane w tekście pracy, tym bardziej, że jak łatwo można zauważyć jest wiele pozycji literaturowych powtarzających się (np. na str. 166, 171,175), czy są zbite w jednym akapicie (str. 175).

## Konkluzja

Podsumowując, recenzent na podstawie przedłożonej pracy może uznać, że Doktorant potrafił samodzielnie rozwiązać oryginalny problem naukowy i przedstawić oryginalną pracę naukową, będącą istotnym wkładem do eksperymentalnych badań nad wytwarzaniem i analizą struktur węglowodorowych w łuku wyładowania elektrycznego. Zastosowane metody i zakres przeprowadzonych badań świadczą o dobrym opanowaniu przez Doktoranta zarówno współczesnych technik eksperymentalnych jak i metod analizy danych. Wyniki przedstawione w rozprawie pozwalają recenzentowi na stwierdzenie, iż recenzowana praca spełnia zawarte w Ustawie o Tytule i Stopniach Naukowych wymogi stawiane pracom doktorskim w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna.

Wobec powyższego stawiam **wniosek o przyjęcie przez Radę Naukową IMP rozprawy doktorskiej** mgr. Arkadiusza Sobczyka nt.: *Powstawanie struktur węglowych w stałonapięciowym wyładowaniu elektrycznym w układzie igła-płyta w przepływającej mieszaninie argonu z cykloheksanem* i dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

T. Kowalewski

- Tomasz Kowalewski -