

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Gabriela Strugały**  
**pt.: „Wpływ modyfikatora nano-SiO<sub>2</sub> na odporność udarową kompozytu węglowo-epoksydowego”**

Podstawą formalną niniejszej recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Gdańskiej, dotycząca wyznaczenia mojej osoby jako jednego z recenzentów rozprawy doktorskiej mgr inż. Gabriela Strugały.

**Charakterystyka rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska pod wyżej wymienionym tytułem ma charakter merytorycznie lokujący ją w zakresie zagadnień typowych dla obszaru naukowego inżynierii materiałowej. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Marek Szkodo, natomiast promotorem pomocniczym dr inż. Michał Landowski. Rozprawa została sporządzona w języku polskim.

Z merytorycznego punktu widzenia oceniana dysertacja dotyczy wymienionych zagadnień:

- projektowe i technologiczne aspekty wytwarzania kompozytów włóknistych węglowo-epoksydowych modyfikowanych nanocząstkami SiO<sub>2</sub> z wykorzystaniem autorskiego projektu wytwarzania tych materiałów;
- ocenę mikrostrukturalną wytworzonych kompozytów włóknistych węglowo-epoksydowych modyfikowanych nanocząstkami SiO<sub>2</sub> z punktu widzenia jednorodności rozmieszczenia fazy modyfikującej;
- ocenę udarnośći kompozytów włóknistych węglowo-epoksydowych modyfikowanych nanocząstkami SiO<sub>2</sub>;
- ocenę zakresu zniszczeń udarowych kompozytów włóknistych węglowo-epoksydowych modyfikowanych nanocząstkami SiO<sub>2</sub> metodą radiografii komputerowej oraz autorskiej metody aktywnej termografii.

W części dysertacji obejmującej tzw. Przegląd literaturowy Doktorant w rozdziale 1 i 2 dokonał przeglądu technologii wytwarzania kompozytów włóknistych o osnowie polimerowej oraz charakterystyki materiałów wyjściowych służących do ich wytwarzania. Natomiast w rozdziale 3 przedstawiono rolę dodatków modyfikujących w polimerach w tym nanocząstek. Odrębny podrozdział poświęcono tematyce modyfikacji nanocząstkami SiO<sub>2</sub>, jak również opisowi właściwości kompozytów włóknistych modyfikowanych tymi cząstkami.

Finalną część przeglądu literaturowego poświęcono charakterystyce odporności udarowej kompozytów włóknistych modyfikowanych i niemodyfikowanych nanocząstkami, oraz zagadnieniu metodyki badań nieniszczących stosowanych do oceny zniszczeń w kompozytach włóknistych w osnowie polimerowej metodą radiografii komputerowej jak również termografii w podczerwieni.

Część praktyczną Doktorant rozpoczął rozdziałem zawierającym genezę, cel, zakres pracy jak również jej zakres i przede wszystkim tezę pracy.

Z przedstawionych informacji wynika, iż źródłem zainteresowania tą tematyką jest konieczność poprawy odporności udarowej omawianego typu kompozytów, których potencjał aplikacyjny czyni jej coraz bardziej pożądanym materiałem konstrukcyjnym. Ponadto, zastosowanie trzeciej fazy w kompozytach włóknistych może być skuteczną drogą poprawy udarowości kompozytów CFRP, na co wskazują badania dotyczące pozytywnego wpływu nanocząstek SiO<sub>2</sub>. Kolejny element to konieczność rozwoju metod oceny nieniszczącej kompozytów włóknistych z punktu widzenia ich jakości technologicznej, jak również skutków niszczenia mechanicznego w tym udarowego.

Z punktu widzenia naukowego Doktorant stwierdza, iż celem niniejszej pracy jest ocena wpływu modyfikatora nan-SiO<sub>2</sub> na odporność udarową kompozytu CFRP oraz zastosowanie metod energetycznych i NDT do oceny odporności udarowej i skali zmieszczenia.

Mgr inż. Gabriel Strugała przedstawił również tezę pracy dotyczącą pozytywnego wpływu modyfikatora nan-SiO<sub>2</sub> na poprawę odporności udarowej kompozytu CFRP oraz na zmniejszenie rozległości powstających uszkodzeń.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono informację dotyczące doboru materiałów wyjściowych użytych do wytworzenia analizowanych kompozytów oraz przedstawiono autorski projekt ich wytwarzania bazujący na metodzie infuzji próżniowej. Dokonano również krótkiej charakterystyki metodycznej dotyczącej badań mikrostrukturalnych w zakresie oceny jednorodności rozmieszczenia nanowydzielców SiO<sub>2</sub>, jak również badań udarowościowych w zakresie 1 do 4 J. Szczególnie ciekawy jest rozdział dotyczący metodyki badań nieniszczących w tym zwłaszcza autorskiej metody oceny zakresu zniszczeń udarowych z użyciem aktywnej termografii.

Ostatnią część rozprawy poświęcono dyskusji wyników i wniosków. Część dyskusyjna powtarza raczej uzyskane wyniki badań, komentując ich formę na podstawie danych literaturowych, a nie własnych przemyśleń. Dotyczy to zwłaszcza zagadnień tworzenia i propagacji pęknięć, mających wpływ na wyniki badań udarowościowych. Przedstawione wnioski również w dominującej części są powtórzeniem wyników badań.

### **Ocena formalna rozprawy**

Recenzowana rozprawa zawiera 138 strony maszynopisu, łącznie z wykazem pozycji literaturowych obejmujących 180 pozycji, oraz listę 48 rysunków i 24 tabel. W jej skład wchodzi część literaturowa, obejmująca 5 rozdziałów. Kolejny element pracy to część eksperymentalna obejmująca, cel, zakres i tezę pracy, oraz opis materiału do badań oraz charakterystykę zastosowanych metod badawczych. Ostatnią część rozprawy stanowią podsumowanie wyników i wnioski.

Z punktu widzenia merytorycznego układ rozdziałów jest zwarty, logiczny i zamknięty. Treści przedstawione są w sposób zwarty i przemyślany. Jasno przedstawiają opisywane zagadnienie. Z punktu widzenia poprawności językowej i użytej terminologii, recenzowana praca jest napisana poprawnie.

Opisywane zagadnienia merytoryczne są scharakteryzowane językiem zwięzłym, ściśle odnoszącym się do analizowanych zagadnień, bez zbędnych ubarwień i niepotrzebnych zawiłości językowo-stylistycznych, których główną rolą jest jedynie wypełnienie wolnej przestrzeni. Stwierdzono pojedyncze błędy interpunkcyjne i tzw. „literówki”.

Zdjęcia, rysunki, schematy oraz tabele przedstawione w omawianej pracy wykonane są starannie, a ich przedstawienie jest uzasadnione ich zawartością merytoryczną.

Sposób wykorzystania źródeł literaturowych jest poprawny. Nie stwierdzono w pracy treści, których przywołanie budziłoby wątpliwości co do ich źródła literaturowego.

### Ocena merytoryczna rozprawy – uwagi dyskusyjne

1. W części teoretycznej Doktorant przedstawiła w sposób merytorycznie zwięzły i ściśle związany z tematem rozprawy, modyfikowanych nanocząstkami kompozytów włóknistych na osnowie polimerowej. Szczególny nacisk położono na charakterystykę zachowań kompozytów CFRP w warunkach testów udarowych oraz metodyce badań nieniszczących służących do oceny zjawisk w tych procesach występujących. Przegląd literatury stanowił podstawę do uzasadnienia wyboru tematu, które można streścić do zagadnień związanych z oceną właściwości mechanicznych kompozytów CFRP modyfikowanych nano-SiO<sub>2</sub> i ocenianych w próbach udarnościoowych, jako kryterium decydującego o efektywności zastosowanego modyfikatora. Konsekwencją prowadzonych analiz było przedstawienie tezy rozprawy.
  - **Teza rozprawy jest generalnie poprawna, aczkolwiek zbyt oczywista. Brakuje odpowiedzi na pytanie dotyczące mechanizmu obserwowanej poprawy właściwości udarowych w wyniku zastosowanej modyfikacji oraz odpowiedzi na pytanie, czy efekt ten zależy od rodzaju zastosowanych cząstek (skład chemiczny), ich kształtu i wielkości, jednorodnego rozmieszczenia w osnowie itp.**Kolejna część rozprawy opisuje proces wytwarzania materiału badawczego ze stwierdzeniem, że zastosowano autorską koncepcję jego wytworzenia.
  - **Proszę zatem o przedstawienie informacji na temat szczegółowych autorskich rozwiązań zastosowanych w badaniach oraz ich roli w kreowaniu nowych właściwości użytkowych badanego kompozytu.**
  - **Analogicznie jak w przypadku autorskiej technologii wytworzenia kompozytu Doktorant stwierdził, iż zastosował autorską metodę oceny efektów niszczenia w badaniach udarności z zastosowaniem aktywnej termografii w podczerwieni. Na czym zatem polegała autorskość zastosowanej metodyki ?**
2. Część badawcza dysertacji przedstawiona została w sposób zwięzły i poprawny. Przedstawiono wyniki badań mikrostrukturalnych SEM i TEM w zakresie charakterystyki dyspersji modyfikatora, stwierdzając że dzięki dobrej dyspersji nie wymagane są dodatkowe zabiegi technologiczne, pozwalające na zmniejszenie efektów aglomeracji.
  - **Ponieważ wg Doktoranta prawidłowa i jednorodna dyspersja cząstek w osnowie polimerowej jest czynnikiem krytycznym decydującym o poprawie właściwości użytkowych kompozytu CFRP, rodzi się pytanie jakie kryterium zostało przyjęte do oceny mikrostrukturalnej, charakteryzujące jednorodność rozmieszczenia nanocząstek SiO<sub>2</sub> w osnowie?**
3. W części obejmującej dyskusję i wnioski de facto powtórzono wyniki badań komentując je wynikami dostępnymi w literaturze.
  - **Jednakże, skoro wg Doktoranta brak jest pełnej wiedzy dotyczącej kompozytów włóknistych na osnowie polimerowej modyfikowanych nanocząstkami zwłaszcza w zakresie ich zachowania w testach udarnościoowych, to posiłkowanie się danymi literaturowymi oraz brak własnych koncepcji interpretacyjnych jest swego rodzaju dysonansem, stojącym w sprzeczności (niewielkiej) z genezą podjętych badań.**

- Wnioski będące konsekwencją przeprowadzonych w dysertacji doktorskiej badań powinny skupiać się nie tylko na udowodnieniu założeń rozprawy i krótkim stwierdzeniu, że udowodniono tezę pracy bo uzyskane wyniki to potwierdzają, ale powinny odpowiedzieć przede wszystkim na pytanie dlaczego wprowadzenie nanocząstek SiO<sub>2</sub> daje pozytywne efekty w badaniach udarności kompozytów CFRP.

### Opinia końcowa

Na podstawie dokonanej oceny rozprawy doktorskiej mgr inż. Gabriela Strugały pt. **„Wpływ modyfikatora nano-SiO<sub>2</sub> na odporność udarową kompozytu węglowo-epoksydowego”**, przygotowanej pod opieką naukową dr hab. inż. Marka Szkodo, stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i technologicznego. Autorka wykazała się szeroką wiedzą w zakresie inżynierii materiałowej. Wyniki przedstawione w rozprawie stanowią jej oryginalny wkład naukowy w zagadnienie poprawy udarności kompozytów CFRP.

Przedstawione uwagi stanowią jedynie wskazówki do dyskusji pozwalające w przyszłości uniknąć pewnych nieścisłości i niedomówień, czy też drobnych błędów technicznych, a przez to ciągłe doskonalenie swego warsztatu badawczego przez Doktoranta i w żaden sposób nie wpływają na moją bardzo pozytywną ocenę recenzowanej pracy.

**W mojej opinii wymieniona rozprawa doktorska w pełni odpowiada warunkom stawianym w ustawie o stopniach i tytule naukowym i na tej podstawie wnoszę o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.**

Dr hab. inż. Grzegorz Moskal, prof. nzw w Pol. Śl.