

Dr hab. inż. Grzegorz Gumienny, prof. nadzw.
Politechnika Łódzka
Wydział Mechaniczny
Katedra Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji

Łódź, 26.08.2019 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej pt. „Kształtowanie odlewu zawieszenia ze strefami o odmiennych funkcjach celu”

Pana mgr inż. Roberta Żuczka

Recenzję wykonano na zlecenie Pana Dziekana Wydziału Odlewnictwa AGH dr hab. inż. Rafała Dańko, prof. nadzw. (pismo z dnia 8 lipca 2019 r.).

1. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Roberta Żuczka zatytułowana „Kształtowanie odlewu zawieszenia ze strefami o odmiennych funkcjach celu” liczy 133 strony. Podzielona jest ona na dwie podstawowe części: teoretyczną oraz doświadczalną. Składa się na nie 11 rozdziałów (4 w części teoretycznej i 7 w doświadczalnej), z których ostatni przedstawia, stosunkowo skromną, liczącą 84 pozycje, bibliografię, wśród których znajdują się 3 pozycje współautorstwa Doktoranta. Brak jest spisu najważniejszych oznaczeń, rysunków, tabel oraz, co uważam za istotne niedopatrzenie, streszczenia w języku angielskim, a także polskim.

2. Przedmiot rozprawy

W ocenianej dysertacji Doktorant podjął próbę opracowania modyfikacji materiałowo – konstrukcyjno – technologicznej elementów zawieszenia mobilnej platformy transportowej specjalnego przeznaczenia. Dodatkowo Autor rozprawy uwzględnił możliwość przenoszenia dynamicznych, obciążeń wywołanych falą uderzeniową niewielkich (tj. od 3,5 do 4 kg TNT) ładunków wybuchowych. W recenzowanej rozprawie znajduje się także rozdział poświęcony badaniom doświadczalnym i poligonowym wahaczy wykonanych na podstawie obliczeń i symulacji, co istotnie podwyższa wartość pracy. Należy stwierdzić, że rozprawa doktorska

Pana mgr inż. Roberta Żuczka stanowi oryginalne i wartościowe rozwiązanie technologiczne istotne z punktu widzenia zarówno optymalizacji konstrukcji, jaki i bezpieczeństwa.

3. Układ pracy

Praca w zasadzie cechuje się klasycznym układem. Rozpoczyna ją część teoretyczna, na którą składa się dwustronicowy wstęp, dwa rozdziały poświęcone analizie aktualnego stanu wiedzy *sensu stricto* oraz cel i teza pracy. Na część doświadczalną składa się metodyka badań, opis badań symulacyjnych oraz doświadczalnych zakończone wnioskami końcowymi. Zwrócić należy uwagę, że w rozdziale poświęconym metodyce badań znaleźć można wyniki badań (np. wyniki badań symulacyjnych w tab. 5.1, str. 47 czy też wyniki badań wytrzymałościowych w tab. 5.8, str. 61), natomiast w rozdziałach dotyczących wyników badań – metodykę (np. metodyka technologii odlewania, str. 113).

4. Prezentacja stanu wiedzy

W stosunkowo krótkiej części teoretycznej Autor opisał zagadnienia związane z zawieszeniem współczesnych pojazdów samochodowych oraz procesem projektowania konstrukcji inżynierskich. Opis różnego rodzaju konstrukcji elementów zawieszenia pojazdów (w tym specjalnego przeznaczenia) uważam za właściwy i wyczerpujący.

W kolejnym rozdziale Doktorant analizuje wybrane aspekty procesu projektowania konstrukcji inżynierskich. W rozdziale tym Autor za właściwe uznał opis zintegrowanego procesu modelowania i projektowania (*Integrated Computational Materials Engineering – ICME*), inżynierskie kształtowanie konstrukcji, scharakteryzował zjawisko wyężenia materiału oraz w telegraficznym skrócie opisał metody numeryczne w procesie wyznaczania tegoż wyężenia. Pewne zdziwienie budzi fakt umieszczenia kilku rysunków autorskich (np. na str. 22 i 31 – czy Doktorant sam je opracował, czy korzystał z danych źródłowych? Jeśli tak, należało to zaznaczyć w opisie pod rysunkiem.

Ze względu na fakt, że recenzowana rozprawa dotyczy konwersji materiałowo – konstrukcyjno – technologicznej za istotne niedociągnięcie w tej części pracy należy uznać brak jakichkolwiek informacji dotyczących analizy materiałów stosowanych na badane elementy zawieszenia oraz ich technologię.

Błędów w teoretycznej części pracy jest niewiele, np.:

1. Tekst pod rysunkiem 3.1 nie koresponduje właściwie z jego treścią – (na tymże rysunku początek procesu projektowania rozpoczynają wyłącznie badania materiałowe,

natomiast poniżej Autor umieścił (*nota bene* słusznie) inne zjawiska i parametry (np. potrzeby rynku czy technologię).

2. Brak odniesienia w tekście do rysunku 3.2.

3. Rysunek 3.4 nie przedstawia procesu projektowania inżynierskiego, jak Autor zaznaczył w tekście, a tylko bardzo ogólny schemat wzajemnych powiązań materiałowych, technologicznych i konstrukcyjnych.

4. Brak opisu symboli stosowanych w równaniach oraz brak odniesienia literaturowego do przedstawionych równań.

Pozostałe, drobne błędy zaznaczono bezpośrednio w pracy.

Z analizy stanu zagadnienia nie do końca jednoznacznie wynikają przesłanki uzasadniające cel pracy. Doktorant winien wyraźnie podkreślić co skłoniło Go do modyfikacji nowoczesnej bądź co bądź konstrukcji, abstrahując od faktu, że część badań realizowana była w ramach projektu badawczego pt.: „Opracowanie konstrukcji oraz technologii wykonania zawieszenia hydroaktywnego w mobilnych pojazdach bezzałogowych odpornych na zagrożenie typu IED”.

Reasumując należy jednak uznać, że teoretyczna część pracy, mimo pewnych niedociągnięć i niewielkiej objętości, dobrze koresponduje z częścią doświadczalną.

5. Teza i cel pracy

Za cel pracy Doktorant postawił sobie „opracowanie konstrukcji odlewanych wahaczy samobieżnego pojazdu transportowego, zapewniającej niezawodność eksploatacji oraz zdolność do pochłaniania części energii fali uderzeniowej eksplozji niewielkich ładunków wybuchowych.”

Z tak przedstawionym celem pracy nie do końca właściwie koresponduje pierwsza teza pracy, traktująca jedynie o technologii zoptymalizowanego wahacza. Zarówno w celu pracy, jak i w tezie Autor winien wyraźnie zaznaczyć, że konwersja dotyczy zarówno technologii, jak i materiału oraz konstrukcji.

6. Przeprowadzone badania

Część doświadczalna pracy zajmuje jej zdecydowaną większość i rozpoczyna się rozdziałem pt. *Metodyka badawcza*. Rozdział ten jest obszerny (zajmuje 24 strony) i opisuje obiekt badawczy, metodę kształtowania z zastosowaniem MES, identyfikację sił działających na elementy zawieszenia pojazdu oraz dobór właściwych materiałów. Rozdział ten znacznie

wykracza poza ramy li tylko metodyki badawczej; znajdują się w nim bowiem nie tylko dane z ww. zakresu, ale również wiele wyników badań (np. w tab. 5.1, 5.6 czy 5.8). Należy też zwrócić uwagę, że wiele danych dotyczących metodyki badań *sensu stricto* czytelnik znajdzie również w innych częściach pracy (np. metodyka wykonania formy czy odlewania na str. 112). W opisie metodyki badań zwykle nie ma potrzeby umieszczania odnośników literaturowych, choć podanie go np. dla równania (11) uważam za słuszne.

W podrozdziale 5.1 Autor właściwie opisał obiekt badawczy, lecz nie przedstawił przesłanek skłaniających Go do pojęcia zmiany konstrukcji wahaczy. Pierwotny obiekt badawczy Autor przedstawia wręcz w superlatywach nie zwracając uwagi na błędy konstrukcyjne, czy niedociągnięcia wymagające optymalizacji prezentowanej konstrukcji. Na str. 40 czytamy: „podjęte zagadnienie dotyczyło zmian samej konstrukcji wybranych elementów zawieszenia tak, aby poprzez odpowiednie kształtowanie uzyskać założenia dotyczące odporności na działanie fali uderzeniowej (...)”. Czy Autor miał tu na myśli uzyskanie zwiększonej (w stosunku do pierwotnej) odporności na działanie fali uderzeniowej? W podrozdziale tym Doktorant umieścił trzy właściwe funkcje celu. Autor założył również skrócenie czasu wykonania elementów składowych zawieszenia, lecz w dalszej części pracy brak jest konkretnych danych czy cel ten osiągnął.

W kolejnych podrozdziałach Autor nader właściwie opisuje sposób prowadzenia koniecznych obliczeń, jak i poddaje analizie siły działające na elementy analizowanej konstrukcji.

Ostatni i najobszerniejszy w tej części pracy podrozdział traktuje o doborze materiału na wybrane elementy pojazdu. Wydaje się słuszne wstępne wytypowanie trzech stopów aluminium, choć brak jest danych jakimi kryteriami Doktorant posłużył się na tym etapie. W tabeli 5.2 Autor przedstawił porównanie wskaźników wybranego stopu aluminium ze stałą niestopową oraz żeliwem sferoidalnym. Dlaczego do porównania Autor wybrał stal 18G2A (oznaczenie z lat 80-tych ubiegłego wieku – czy chodzi o stal niestopową S355 wg PN-EN 10025:2005)? Wydaje się, że właściwszym do porównania rodzajem stali na tego typu konstrukcję byłaby stal stopowa do ulepszania cieplnego (np. 42CrMo4 wg PN-EN 10083, dla której $R_{m\ min}$ wynosi 1000 MPa).

W dalszej części omawianego podrozdziału Doktorant skupia się na stopie Al-Zn-Mg-Cu, właściwie opisując metodykę badań wytrzymałościowych oraz sposób doboru parametrów obróbki cieplnej.

Pytania i wątpliwości do tej części pracy to:

1. Czy przy doborze wymiarów próbek do badań wytrzymałościowych pokazanych na rys. 5.13 Doktorant posłużył się właściwą normą?

2. Na str. 60 Autor zaznaczył, że: „wariant dwustopniowej obróbki cieplnej korzystnie wpłynął na proces przechodzenia faz kruchych do roztworu”. Czy Doktorant ma na myśli szybkość ich rozpuszczania? Czy wykonano badania jednostopniowego wygrzewania potwierdzające ww. stwierdzenie? Dlaczego próbki studzono w wodzie o temperaturze 80°C?

3. Brak jest informacji determinujących dobór czasu ww. operacji.

4. Dlaczego Autor badał właściwości wytrzymałościowe próbek odlewanych do form piaskowych oraz form trwałych? Prototypowe wahacze wykonane wszak były tylko w formach jednorazowych. Czy planowane jest wykonanie tych elementów w technologii odlewania kokilowego?

5. Wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie przedstawione w tab. 5.6 i 5.8 nie korespondują z wartościami przedstawionymi w tab. 5.2 (znaczne różnice dla wartości R_m).

6. Na rysunku 5.17 Autor przedstawił mikrostrukturę analizowanego stopu, lecz jej nie opisał. Czy zbadane zostały jej składniki?

Na jednoznaczną pochwałę w tej części pracy zasługują badania wytrzymałościowe z części gotowego odlewu. Zaznaczyć należy, że wytrzymałość na rozciąganie tych próbek znacznie przewyższa tę, która została zmierzona na próbkach oddzielnie odlewanych w postaci wałków.

Poza powyższymi uwagami błędów w tym rozdziale jest niewiele (np. stosowanie archaicznego oznaczenia wydłużenia A_5).

Rozdział 6 stanowi opis badań numerycznych zarówno wyjściowych, jak i proponowanych rozwiązań konstrukcyjnych elementów zawieszenia. W rozdziale tym Doktorant szczegółowo opisał warunki pracy konstrukcji oraz określił wartości reakcji w punktach węzłowych. Ze względu na stopień skomplikowania analizowanego zagadnienia zastosował tu kilka niezbędnych uproszczeń, co nie umniejsza wartości przeprowadzonych analiz. W ich wyniku określił newralgiczne miejsca maksymalnego wyężenia konstrukcji, co pozwoliło Mu na przeprowadzenie optymalizacji istniejącej konstrukcji.

W dalszej części rozdziału Autor poddał analizie kilka wybranych modeli konstrukcji wahaczy o przekroju ramion ceowym (w trzech wersjach) oraz dwuteowym. Szczegółowa analiza wyników symulacji numerycznej pozwoliła na wybór najkorzystniejszej (zarówno z punktu widzenia maksymalnego wyężenia konstrukcji, jak i odkształceń) wersji wahacza dolnego o przekroju dwuteowym, dla której maksymalne wartości naprężeń zredukowanych nie przekraczały 210 MPa. Należy przy tym zaznaczyć, że zmiana materiału oraz kształtu

wahacza dolnego doprowadziły do zmniejszenia jego masy o około 20% w porównaniu do wyjściowego konstrukcji spawanej.

Należy uznać, że rozdział ten prezentuje właściwe podejście inżynierskie i stanowi ważną i interesującą część pracy. Zastrzeżeń i uwag w tej części pracy jest niewiele, np.:

- rysunek 6.1 (str. 64) to powtórzenie rys. 5.3 ze str. 41,
- dlaczego do obliczeń przyjęto R_m na poziomie 436 MPa, skoro średnie R_m dla stopu z rzeczywistego wahacza to 382 bądź 444 MPa (w zależności od miejsca pobrania próbki)?
- stosowanie określenia „wahacz aluminiowy” zamiast „wahacz ze stopu aluminium”,
- pewnym nadużyciem wydaje się być używanie sformułowania „materiał ultralekki” dla stopu Al-Zn-Mg-Cu.

W podrozdziale 6.3 Doktorant poddał analizie konstrukcje o przekroju rurowym, przy czym stwierdza, że powinna ona znacznie lepiej przenosić obciążenia zginające i skręcające. Dlaczego w takim razie taki kształt nie został poddany analizie w pierwszej kolejności? Pewną niekonsekwencją w tej części pracy jest analiza konstrukcji z żeliwa sferoidalnego ferrytycznego gatunku EN-GJS-400-15, pomimo faktu, że materiał ten nie był brany pod uwagę w poprzednio opisanych podrozdziałach. Wątpliwości budzi również fakt doboru do porównania żeliwa o niewielkiej wytrzymałości na rozciąganie. Dlaczego Autor nie zdecydował się na żeliwo gatunku EN-GJS-600-3 bądź 700-2? Pomimo uzyskanego znacznego zmniejszenia masy (tj. o 40% w stosunku do konstrukcji spawanej) oraz naprężeń na poziomie 209 MPa wahacza ze stopu aluminium o przekroju rurowym (tj. niższych niż dla wahacza o przekroju dwuteowym) konstrukcja taka nie była brana pod uwagę w dalszej części pracy (Autor wyjaśnia to we wnioskach). W obydwu przypadkach (tj. dla konstrukcji ze stopu aluminium, jak i żeliwnej) w podsumowaniu Autor ogranicza się do podania drogi dalszych badań optymalizacyjnych.

Rozdział 7 traktuje o podatności badanej konstrukcji na działanie fali uderzeniowej i jest ważną częścią rozprawy. W jego pierwszej części Doktorant opisuje zjawiska związane z efektem wybuchu. Część tę kończy rys. 7.3 przedstawiający ostateczny kształt wahacza dolnego, przy czym należy zaznaczyć, że ostateczną konstrukcję wahacza dolnego Doktorant podał także na rys. 6.24, str. 85. Przeprowadzona w podrozdziale 7.2 analiza doprowadziła do zamodelowania konstrukcji spełniającej dwa założenia: przenoszenie obciążeń

eksploatacyjnych oraz podatność na szybkozmienne obciążenie ciśnieniem fali wybuchu. Ta część rozprawy zasługuje na nader pozytywną ocenę.

Kolejny rozdział opisuje technologię nowo zaprojektowanej części. Autor przyjął właściwą technikę badawczą do zamodelowania zasilania odlewu z wykorzystaniem oprogramowania MAGMASoft®. Rozdział ten dotyczy nie tyle, jak to zaznaczył Doktorant, wyboru technologii (wszak założył technologię odlewania do formy piaskowej), a budowy układu zasilającego dla zaprojektowanych konstrukcji wahaczy. W tej części pracy należy zaznaczyć, że Doktorant wziął pod uwagę najważniejsze czynniki wpływające na końcową jakość odlewu, choć pewien niepokój może budzić fakt, że przedstawiona na str. 109 końcowa konstrukcja układu zasilającego nie jest poprzedzona szczegółowymi choćby danymi, jak Autor tę konstrukcję opracował (np. wielkość zasilaczy czy miejsce doprowadzenia ciekłego stopu). Pozostałe uwagi do tej części pracy to:

1. Nie wydaje się słuszne badanie w tej części pracy wahacza o przekroju ceowym, wszak taki kształt został zarzucony na etapie kształtowania konstrukcji ze względu na przekroczenie dopuszczalnej wartości parametrów wytrzymałościowych.

2. Rys. 8.1 nie pokazuje technologii odlewania, a jedynie zamodelowany w programie komputerowym odlew wraz z układem wlewowym i zasilaczami.

3. Brak wyników badań laboratoryjnych potwierdzających skłonność analizowanego stopu aluminium do tworzenia mikroporowatości.

4. Nie sposób zgodzić się ze stwierdzeniem, że żeliwo sferoidalne charakteryzuje się plastycznością (winno być „wydłużeniem”) $\geq 7\%$. Istnieje wszak szereg gatunków tego żeliwa charakteryzujących się wydłużeniem $\geq 2\%$, czyli zbliżonym do badanego stopu aluminium.

Pomimo wyszczególnionych powyżej błędów należy podkreślić, że badania zostały prawidłowo i należyście wykonane z wykorzystaniem właściwie dobranych i nowoczesnych technik i narzędzi. Ta część pracy zasługuje w mojej opinii na więcej niż pozytywną ocenę.

W dalszej części rozdziału Autor opisał wykonanie wahaczy prototypowych. Na jednoznaczną pochwałę zasługuje tu wykorzystanie techniki szybkiego prototypowania do wykonania oprzyrządowania odlewniczego. W tej części pracy Doktorant właściwie opisał oraz zilustrował przebieg wykonania odlewów oraz ich obróbkę, zarówno wykańczającą, jak i cieplną. Pewne zdziwienie może tylko budzić stwierdzenie, że „masę zagęszczano ręcznie, aby prawidłowo odwzorować kształt odlewu”.

Ostatnia część pracy dotycząca wyników badań opisuje doświadczalne i poligonowe badania konstrukcji. Jej użyteczny aspekt polegający na zamontowaniu wykonanych wahaczy prototypowych w rzeczywistym pojeździe i ocenę ich użyteczności oceniam bardzo wysoko.

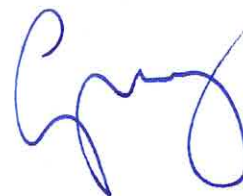
Do zalet tej części pracy należy zaliczyć także pracochłonne badania wytrzymałości elementów zawieszenia dla różnych kombinacji obciążenia potwierdzające poprawność wykonanych konstrukcji.

Opis wyników badań kończy weryfikacja konstrukcji w warunkach bojowych oraz ocena mobilności pojazdu z zamontowanymi wahaczami. Zwraca tu uwagę zarówno zniszczenie konstrukcji w wyniku eksplozji w obszarach, które zostały zaplanowane na etapie symulacji, jak i wzorowe zachowanie pojazdu podczas jazdy w terenie.

Wnioski końcowe jednoznacznie korespondują z uzyskanymi wynikami badań i potwierdzają osiągnięcie celu pracy, przy czym należy zwrócić uwagę, że wniosek dotyczący zastosowania zintegrowanego projektowania konstrukcji inżynierskich do kształtowania konstrukcji z uwzględnieniem wymagań materiałowych oraz użytkowych nie jest odkrywczy.

Pomimo faktu, że recenzja dysertacji zawiera wiele uwag krytycznych rozprawę oceniam zdecydowanie pozytywnie z nadzieją, że uwagi te będą pożyteczne podczas przygotowywania publikacji oraz planowania kolejnych badań.

Reasumując, należy stwierdzić, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymogi Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym, w związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Roberta Żuczka do publicznej obrony.



dr hab. inż. Grzegorz Gumienny. prof. nadzw.