

dr hab. inż. Marek Kowalik - prof. nadzw. UTH
Instytut Budowy Maszyn
Wydział Mechaniczny
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Bucior
pt.: **Wpływ nagniatania dynamicznego na wytrzymałość zmęczeniową stali stosowanych
na sita przesiewaczy**
wykonana na zlecenie Prorektora ds. Nauki prof. dr. hab. Grzegorza Budzika
z dnia 19 grudnia 2016 r.,
na podstawie uchwały Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa
z dnia 14 grudnia 2016 roku.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

W budowie i eksploatacji maszyn istotne staje się stałe doskonalenie konstrukcji i technologii zarówno poszczególnych części jak i podzespołów. Proces ten polegający na wykorzystywaniu dotychczasowego doświadczenia oraz na analizie i usuwaniu wad, wprowadzaniu do wytwarzanych urządzeń wszystkiego co jest dobre w istniejących rozwiązaniach nazywany jest często dziedzictwem konstrukcyjnym. Każdy współczesny produkt przemysłowy jest wynikiem pracy kilku pokoleń konstruktorów i technologów, które wzbogacają go swoimi twórczymi wysiłkami. W ten nurt wpisuje się praca doktorska pani mgr inż. Magdaleny Bucior pt. „Wpływ nagniatania dynamicznego na wytrzymałość zmęczeniową stali stosowanych na sita przesiewaczy”. Na uznanie zasługuje tematyka badań zmęczeniowych, które ze względu na swoją pracochłonność nie są zbyt często podejmowane. Doktorantka poddała analizie przesiewacz wibracyjny rezonansowy. Przesiewacz ten służy do segregacji mokrego materiału skalnego. Od tego rodzaju urządzeń wymagana jest wysoka wydajność procesu wynosząca od kilku do kilkunastu ton urobku na godzinę. Newralgicznym elementem decydującym o trwałości i niezawodności przesiewacza parametrycznego wibracyjnego jest sito. Zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej drogą nagniatania dynamicznego stali stosowanych na ten element stało się przedmiotem badań doktorantki. Sito jest najważniejszą częścią roboczą, na której zachodzi proces rozdziału frakcji materiału. Dlatego odpowiedni dobór cech konstrukcyjnych sit takich jak: wymiar i kształt otworu, profil w przekroju poprzecznym, rozstawienie otworów, materiał i stan jego struktury, technologia wykonania otworów, sposób mocowania sita do ramy, częstotliwość i amplituda drgań decydują o jego wytrzymałości zmęczeniowej. Doktorantka proponuje zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej sit przesiewacza drogą nagniatania dynamicznego wybierając do badań stal sprężynową, chromową i konstrukcyjną oraz przedstawia własne prototypowe urządzenie do pneumatycznego kulowania obszaru, w którym występują pęknięcia zmęczeniowe.

1.1. Ocena układu pracy

Rozprawa podzielona jest na 5 rozdziałów, zawiera wprowadzenie, wnioski i literaturę oraz uzupełniona jest załącznikami, na które składają się 33 mapy topograficzne powierzchni 3D dla różnych parametrów nagniatania dynamicznego. Praca napisana jest na 151 stronach i zawiera 135 pozycji bibliograficznych poprzedzonych wykazem oznaczeń i skrótów oraz opatrzona wprowadzeniem.

Rozdział 1 (str. 8-32) poprzedza wprowadzenie, w którym autorka odwołując się do literatury wskazuje na pneumokulowanie jako technologię podniesienia wytrzymałości zmęczeniowej sit przesiewaczy wibracyjnych. Doktorantka zajmuje się stalami: austenityczną X5CrNi18-10, sprężynową 51CrV4 oraz konstrukcyjną 30HGSA. Zastosowanie w przypadku tych materiałów kulowania zwiększa wytrzymałość zmęczeniową tych materiałów do 40%. Cały rozdział pierwszy poświęcony jest analizie literatury. Przesiewacze, a z nimi sita stosowane są w bardzo wielu dziedzinach gospodarki od rolnictwa poprzez przemysł chemiczny, wydobywczy, budowlany do metalurgii. Doktorantka w przeglądzie literatury prezentuje typy przesiewaczy wibracyjnych oraz przedstawia konstrukcję sit wskazując na pęknięcia zmęczeniowe jako główny parametr krytyczny. Następnie zostaje przeprowadzona charakterystyka metod nagniatania i korzyści z tego wynikające. Autorka odwołuje się do wielu prac badaczy krajowych i zagranicznych z zakresu struktury warstwy wierzchniej, głębokości powierzchniowych odkształceń plastycznych w aspekcie parametrów nagniatania, rozkładu naprężeń w warstwie wierzchniej, topografii powierzchni kulowania, metod oceny skutków nagniatania dynamicznego. Cytowane publikacje dotyczą zarówno klasycznych metod takich jak np. Almena, jak i najnowszych tj. kulowania laserowego, z wykorzystaniem strumienia wody i ultradźwięków. Rozdział zakończony jest stwierdzeniem, że najbardziej predysponowaną technologią do podwyższenia wytrzymałości zmęczeniowej wybranych fragmentów sit jest pneumokulowanie, z czym recenzent się zgadza. Autorka wskazując na dynamiczny charakter procesu pneumokulowania oraz dużą ilość parametrów technologicznych twierdzi, że to powoduje trudność modelowania, z czym recenzent także się zgadza. Czy wobec tego nie należałoby podjąć próby oszacowania poziomu naprężeń występujących w sicie maksymalnie upraszczając model. Słabą stroną rozdziału jest jakość prezentowanych rysunków. Recenzent stwierdza, że doktorantka odniosła się wystarczająco do publikacji dotyczących tematu uwzględniając znaczące starsze jak i najnowsze prace.

W rozdziale 2 (str. 33-44) doktorantka formułuje hipotezę o możliwości zwiększenia trwałości zmęczeniowej sit przesiewaczy poprzez zastosowanie miejscowego mocnienia materiału technologią pneumokulowania. Wybiera do eksperymentów stal sprężynową 51CrV4, austenityczną X5CrNi18-10 i konstrukcyjną 30HGSA argumentując powszechnym użytkowaniem tych materiałów na sita przesiewaczy. Celem badań jest ocena efektywności zwiększenia trwałości zmęczeniowej blach z wybranych gatunków stali, oraz określenie wpływu parametrów technologicznych pneumokulowania na intensywność występowania śladów kulowania i chropowatość powierzchni. Autorka stawia sobie cel użyteczny, który jest opracowanie konstrukcji głowicy do nagniatania dynamicznego blach na sita przesiewaczy. Recenzent zgadza się z tak postawionymi celami.

Rozdział 3 poświęcony jest przyjętej metodyce badań. Doktorantka przedstawia konstrukcję próbki przyjętej do badań nagniatania dynamicznego i zmęczeniowego, stanowisko do pneumokulowania, aparaturę badawczą do pomiaru struktury geometrycznej powierzchni, mikrotwardości, badań metalograficznych, badań wytrzymałościowych i zmęczeniowych. Do oceny wpływu parametrów pneumokulowania autorka proponuje zastosowanie planu Hartley'a z następującymi danymi: czas nagniatania, średnica kulki, ciśnienie. Do przedstawionego rozdziału można formułować następujące zastrzeżenia: nie jest podane według jakich kryteriów opracowano konstrukcję próbki, czy jest jakaś skala w stosunku do otworów sita, jakie przesłanki zadecydowały o wyborze planu Hartley'a, czym się kierowano określając zakresy czynników wejściowych budując matryce planu, nie zdefiniowano pojęcia intensywności procesu (str.48).

W rozdziale 4 przedstawione są wyniki badań i ich analiza. W pierwszym etapie badań dokonano pneumokulowania blach z wybranych 3 gatunków stali do momentu 100% pokrycia powierzchni blachy śladami odcisku padających z prędkością 3-5m/s kulek. Następnie określono główne parametry chropowatości 2D i 3D. Stwierdzono wzrost chropowatości po pneumokulowaniu. Doktorantka postuluje przyjęcie stosunku parametru S_{da} do S_p (zależność 4.1) jako wskaźnika wytrzymałości zmęczeniowej twierdząc jednocześnie, że im niższa będzie wartość tego współczynnika tym większy jest wzrost (czy przyrost) wytrzymałości zmęczeniowej. Opisany fragment bogato jest ilustrowany mapami 3D powierzchni kulowanych. W ramach pracy przeprowadzono obserwację w przekroju poprzecznym mikrostruktury warstwy wierzchniej dla próbek w stanie wyjściowym i po kulowaniu. Prezentowane fotografie nie są zbyt dobrej jakości (nie widać nawet odcinka naniesionej skali). Zaobserwowanie tekstury warstwy wierzchniej po powierzchniowym odkształceniu plastycznym i przy tak małej wartości odkształcenia jest trudne, tak więc uwaga powinna być skoncentrowana na obszarze warstwy wierzchniej przy większych powiększeniach. Przeprowadzono również pomiary mikrotwardości powierzchni wyjściowych i kulowanych stwierdzając największy przyrost mikrotwardości 38% dla stali X5CrNi18-10, 22% dla stali sprężynowej 51CrV4 i 14% dla stali konstrukcyjnej 30HGSA. Doktorantka przeprowadziła również badania stycznych własności wytrzymałościowych stwierdzając minimalny wzrost dla próbek po kulowaniu. Dla wszystkich trzech gatunków stali przeprowadzono badania ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej otrzymując równanie regresji dla stali przed i po kulowaniu. Pneumokulowanie dla wszystkich stali zwiększyło wytrzymałość zmęczeniową. Następnie doktorantka koncentruje się na stali sprężynowej 51CrV4, której wytrzymałość zmęczeniowa w badaniach wstępnych okazała się największa. Jako dane wejściowe do planu eksperymentu Hartley'a zostają przyjęte parametry technologiczne procesu kulowania tj. czas t , średnica kulek d i ciśnienie p . Czynnikiemami wyjściowymi (podlegającymi pomiarowi) były wybrane parametry chropowatości oraz ugięcie płytek w próbie Almena. Dopiero na 82 stronie pracy czytelnik dowiadyuje się, że autorka utożsamia ugięcie płytki w wyniku naprężeń własnych ściskających spowodowanych zgniotem w warstwie wierzchniej z intensywnością procesu (patrz str.48).

W rozdziale 5 można zapoznać się z konkretnym sitem przesiewacza, który zainspirował doktorantkę do badań zmęczeniowych. Przedstawiona jest fotografia sita, na której zazna-

czono obszary pęknięć zmęczeniowych. Recenzent uważa, że bardziej komunikatywny byłby rysunek konstrukcyjny sita ze wszystkimi jego wymiarami. Istotna jest informacja o technologii wykonania otworów. Następnie przedstawiona jest opracowana głowica do obustronnego pneumokulowania sit przesiewaczy o wymiarach $750 \times 700 \times 1$ mm. Prezentowane schematy zaciemnione są mniej istotnymi szczegółami konstrukcyjnymi przez co trudno zorientować się czytelnikowi co do idei działania urządzenia. Rozdział zamyka fotografia prototypu oraz obrazy powierzchni stali sprężynowej 51CrV4 po kulowaniu z różnymi wartościami ciśnienia. Recenzent podkreśla dokonanie jakim jest zbudowanie urządzenia do kulowania z przeznaczeniem do zastosowania przemysłowego, w którym wykorzystano wyniki badań eksperymentalnych.

Pracę kończą wnioski z których należy zauważyć ustalenie, że: największą wytrzymałość zmęczeniową ma stal sprężynowa 51CrV4, największy względny przyrost wytrzymałości zmęczeniowej wykazała stal 30HGSA, chropowatość po kulowaniu jest większa, najbardziej wzrasta mikrotwardość powierzchni stali austenitycznej. Analiza statystyczna wyników wskazała, że chropowatość powierzchni najbardziej uzależniona jest od ciśnienia i średnicy kulek a mniej od czasu kulowania. Zadaniem recenzenta wniosek 9 mówiący o odwrotnej proporcjonalności współczynnika Sda/Sp do przyrostu wytrzymałości zmęczeniowej jest tylko przypuszczeniem.

1.2. Nowości naukowe stanowiące oryginalny dorobek doktorantki

Z przedstawionego omówienia wynika, że rozprawa spełnia pod względem układu i podziału treści oraz kompletności materiału wymagania stawiane tego typu pracom. Jako oryginalne osiągnięcie doktorantki należy uznać przeprowadzenie badań wytrzymałości zmęczeniowej perforowanych cienkich blach stalowych o strukturze austenitycznej, perlityczno-ferrytycznej, ferrytyczno-perlitycznej w stanie surowym i po pnemokulowaniu. Przedstawiony materiał jest merytorycznie poprawny, autorka wykazała się znajomością literatury przedmiotu. Sformułowała hipotezę i zaplanowała poprawnie badania eksperymentalne w celu weryfikacji. Posługiwała się nowoczesną aparaturą badawczą oraz opracowała materiał badawczy wykazując się znajomością metod statystycznych. Otrzymane wyniki pozwoliły określić optymalne parametry technologiczne dla zaprojektowanej oryginalnej głowicy do pneumokulowania sit. Na tej podstawie recenzent stwierdza, że doktorantka opanowała metodykę prowadzenia samodzielnie badań naukowych.

2. Uwagi krytyczne

Recenzent ma kilka pytań i uwag krytycznych do których winna się odnieść w szerszym zakresie doktorantka podczas publicznej obrony pracy doktorskiej:

1. Dlaczego przyjęta do badań stal sprężynowa 51CrV4 jest w stanie surowym (zmięczonym). Tej grupy materiały (sprężynowe) zwykle stosujemy w stanie ulepszonym cieplnie w zależności od zastosowania 40-55 HRC, przy takim poziomie twardości w stalach węglowych mówimy o sprężystości w sensie użytkowym. Jest to zdecydowanie wyższy poziom wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej.

2. Jak się ma przyjęta do badań zmęczeniowych próbka rys.3.15 w stosunku do sita przesiewacza rys.5.1. Recenzent zauważył podobieństwo geometryczne z otworami w przesiewaczu rys. 5.2. Czy jest to proporcja, czy inna zależność i na ile jest uprawiona.
3. Jaką technologią wykonana była obróbka konturów i otworów w próbce, to jest istotne ze względu na wytrzymałość zmęczeniową.
4. Gdzie na próbce rozpoczynały się pęknięcia zmęczeniowe i jaki miały charakter. Doktorantka z pewnością posiada takie fotografie i jeżeli nie znalazły się w pracy recenzent usilnie namawia doktorantkę do umieszczenia ich w prezentacji podczas publicznej obrony i opatrzenia komentarzem.
5. Jak się mają skutki kulowania (dość mała głębokość warstwy umocnionej) wobec wysokiego jak przypuszcza recenzent zużycia ściernego sit przesiewaczy.
6. Recenzent prosi doktorantkę bardziej wyraźną wypowiedź na temat stosunku *Sda* do *Sp* zależność (4.1) str.55 i wniosek nr 9 str.100 oraz użytego pojęcia intensywność procesu str.48 i 82

W tekście pracy zdarzają się usterki redakcyjne, skróty myślowe w formułowaniu założeń, niezbyt wysoka jakość rysunków i ubogie ich opisy. Pomimo tych niedociągnięć recenzent ocenia pracę na dobrym poziomie merytorycznym.

3. Wniosek końcowy

W podsumowaniu recenzent stwierdza, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego badań zmęczeniowych blach perforowanych przeznaczonych na sita wibracyjne poddanych procesowi pneumokulowania. Ponadto Autorka wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i użytecznym zastosowaniu jej wyników.

Przedstawiona dysertacja wskazuje jednoznacznie na dobre opanowanie przez Autorkę teoretycznych podstaw prowadzenia badań teoretycznych i doświadczalnych w zakresie trwałości obiektów technicznych. Tym samym spełnia wymagania ustawy z dnia 27 lipca 2005 roku „Prawo o Szkolnictwie Wyższym” oraz ustawy z dnia 18 marca 2011 o zmianie ustawy - „Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw”.

Wnoszę więc o dopuszczenie mgr inż. Magdaleny Bucior do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej



Radom dn. 15.02.2017

dr hab. inż. Marek Kowalik
Prof. nadzw. UTH