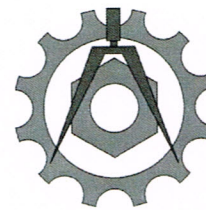


**KATEDRA KOMPUTEROWEGO MODELOWANIA
I TECHNOLOGII OBRÓBKI PLASTYCZNEJ**

WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKA LUBELSKA
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 LUBLIN



tel.: +48 81 5384245

fax: + 48 81 5384241

e-mail: a.gontarz@pollub.pl

Dr hab. inż. Andrzej Gontarz, prof. nadzw. PL
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska

Lublin, 4 listopada 2016 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra inż. Marcina Dynera**

**p.t. „Plastyczne kształtowanie tytanowych paneli cienkościennych z przetłoczeniami
usztyniającymi”**

Podstawę prawną recenzji stanowi Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. nr 65 poz. 595 z późn. zm.), Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 października 2015 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2015 r. poz. 1842) i Uchwała Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 30 września 2016 r.

1. Omówienie recenzowanej pracy

Tytan i jego stopy ze względu na bardzo dobrą wytrzymałość względną, dobrą odporność na korozję i działanie wysokich temperatur jest materiałem szczególnie atrakcyjnym do zastosowań w budowie różnego rodzaju pojazdów lądowych, statków powietrznych i wodnych. Z uwagi na stosunkowo małą plastyczność w temperaturze pokojowej, procesy kształtowania plastycznego realizowane są na gorąco. Stosowanie podwyższonych temperatur pozwala na uzyskiwanie większych wartości odkształceń i dokładności wymiarowych wyrobów. Z drugiej strony powoduje wzrost kosztów produkcji i generuje problemy związane z utlenianiem. Z tego powodu w niektórych przypadkach, głównie w procesach kształtowania blach stosuje się obróbkę na zimno. Sposób ten posiada jednak ograniczenia związane z małą plastycznością i dużą skłonnością tytanu do sprężynowania powrotnego, co znacząco utrudnia uzyskanie wyrobów o dobrej jakości kształtowej i wymiarowej. Dlatego też analizowany w rozprawie proces wyłaczania na zimno żeber usztyniających w cienkościennych blachach tytanowych należy do grupy procesów trudnych w aspekcie technologicznym. Uwzględniając dodatkowo stosunkowo ubogą literaturę

dotyczącą tej tematyki uważam, że podjęcie prac badawczych zmierzających do określenia parametrów procesu wytlaczania pozwalających na uzyskanie wyrobów tytanowych o założonej jakości jest uzasadnione i ma potencjał użyteczny.

Praca o objętości 150 stron podzielona jest na 4 rozdziały uzupełnione wstępem, wykazem ważniejszych oznaczeń, streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz bibliografią.

We wstępie Autor podał krótką charakterystykę tytanu i jego zastosowanie oraz wskazał trudności technologiczne w procesie wytlaczania paneli cienkościennych z tego metalu. Dalsza część wstępu stanowi pewnego rodzaju streszczenie zawierające informacje o przyjętej tezie, zakresie badań oraz uzyskanych wynikach.

Rozdział pierwszy zawiera przegląd literatury specjalistycznej obejmującej charakterystykę materiałów tytanowych stosowanych w przemyśle lotniczym, zagadnienia technologiczne procesów produkcyjnych części z blach tytanowych oraz krótkie podsumowanie. Doktorant przedstawił rys historyczny dotyczący odkrycia i zastosowania tytanu oraz podał metody jego otrzymywania. Dokonał charakterystyki właściwości tytanu i jego stopów o strukturze α , $\alpha+\beta$ i β . W części odnoszącej się do zagadnień technologicznych opisał parametry materiałowe decydujące o podatności blach do tłoczenia, konstrukcję narzędzi do wytlaczania ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania dociskaczy i progów ciągowych oraz przedstawił negatywne zjawiska występujące podczas wytlaczania. W dalszej części omówione zostały operacje wykrawania, cięcia laserowego, cięcia strumieniem wody ze ścierniwem, elektrodrażenie oraz operacje gięcia. Nadmieniono o możliwości kształtowania nadplastycznego stopów tytanu oraz dokonano krótkiej charakterystyki kształtowania plastycznego na gorąco tych materiałów. Autor odniósł się również do roli smarowania w procesie wytlaczania, a także zamieścił krótką informację o zaletach stosowania symulacji numerycznych przy projektowaniu procesów kształtowania wyrobów z blach. W podsumowaniu przeglądu literatury podanego w punktach Doktorant wskazał na celowość stosowania blach tytanowych na konstrukcje lotnicze, podkreślił złożoność procesów wytlaczania stopów tytanu na zimno i wskazał sposoby poprawy ich skuteczności. Zaznaczył także występowanie niedostatku danych dotyczących wytlaczania cienkich blach tytanowych, co Jego zdaniem uzasadnia prowadzenie badań w tym zakresie.

W rozdziale drugim Autor przedstawił cel, tezę i zakres pracy. Za cel pracy przyjął określenie warunków wytlaczania żeber usztywniających w cienkościennych blachach tytanowych zapewniających odpowiednią jakość kształtu wyrobu. Teza związana jest z celem i zakłada, że przy wytlaczaniu żeber usztywniających w cienkościennych blachach tytanowych zapewnienie odpowiednich warunków tarcia i możliwie największej siły docisku pozwoli na zmniejszenie odkształceń płaskiej części kształtowanych wyrobów. Jest ona zrozumiała i związana z

przedstawionym dalej zakresem pracy, aczkolwiek w mojej ocenie wyjaśnienia wymaga sformułowanie „możliwie największa siła docisku”, co podniesiono w uwagach do pracy. Pozytywnie należy ocenić schemat blokowy przedstawiony na rys. 2.3, który w sposób zwięzły i przejrzysty prezentuje zakres prac przyjętych do realizacji rozprawy.

W obszernym rozdziale trzecim, o objętości 104 stron, zamieszczone zostały wyniki badań własnych. Po krótkiej charakterystyce trzech gatunków tytanu wybranych do badań: Grade 1, Grade 2 i Grade 3 opisano przebieg i wyniki kolejnych testów, tj.: statycznej próby rozciągania, pomiaru anizotropii, badań tłoczności metodą Erichsena, badań krzywych odkształceń granicznych oraz pomiaru kąta sprężynowania metodą gięcia stemplem o przekroju „V”. Ten zakres prac pozwolił na wyznaczenie modułu Younga, granicy plastyczności, granicy wytrzymałości na rozciąganie oraz krzywej umocnienia. Na podstawie uzyskanych wyników we wszystkich badanych blachach stwierdzono występowanie anizotropii płaskiej, która jest niekorzystna oraz stosunkowo dużej anizotropii normalnej, korzystnej z technologicznego punktu widzenia. Rezultaty badań potwierdziły najlepszą podatność do tłoczenia gatunku Grade 1, a najgorszą gatunku Grade 3. Określona również została zależność kąta gięcia od gatunku materiału, kierunku linii gięcia w stosunku do kierunku walcowania oraz siły gięcia.

W drugiej części rozdziału przedstawiony został opis zastosowanego w symulacjach programu PAM-STAMP 2G v. 2012 oraz wyniki analiz numerycznych procesów wytłaczania paneli cienkościennych z żebrami usztywniającymi położonymi równolegle względem siebie oraz w kształcie krzyża z dodatkowymi żebrami tworzącymi kwadrat na obwodzie. Szczegółowej analizie poddano zmiany grubości blachy, wartości odkształceń, zmniejszenie szerokości paneli oraz sprężynowanie powrotne w zależności od siły docisku i warunków tarcia w procesie wytłaczania blach z trzech wybranych gatunków tytanu. Na podstawie uzyskanych wyników Doktorant stwierdził, że zniekształcenie wyrobu zależy od gatunku materiału, siły docisku blachy, a także rozmieszczenia żeber usztywniających.

W dalszej części rozdziału trzeciego, zawierającej wyniki badań doświadczalnych, przedstawiony został krótki opis przebiegu badań oraz sposobu pomiaru odchyłek blach od powierzchni pomiarowej, które były głównym mierzonym parametrem. Na podstawie porównania wyników eksperymentu z rezultatami obliczeń Autor stwierdził kilkuprocentowe różnice w tym zakresie.

Następnie przedstawione zostały wyniki badań odporności wytłoczonych paneli na działanie wysokich temperatur. Opisano przebieg próby ogniowej oraz rezultaty pomiaru temperatury i zniekształcenia wyrobów podczas testu. Nie stwierdzono przypadków przepalenia blachy, co dało podstawę do pozytywnej oceny próby ogniowej.

Rozdział zakończony został wnioskami odniesionymi do uzyskanych wyników w zakresie pomiaru tłoczności, anizotropii, sprężynowania powrotnego, wyników symulacji, próby doświadczalnej oraz próby ogniowej. Wszystkie wnioski znajdują potwierdzenie w rezultatach badań, chociaż wniosek nr 4 ma charakter komentarza (a nie wniosku) na temat rozbieżności wyników teoretycznych i doświadczalnych, który mógłby stanowić uzupełnienie wniosku nr 3.

W ostatnim, czwartym rozdziale Doktorant przedstawił podsumowanie pracy, w którym stwierdził, że słuszność tezy została potwierdzona, a założony cel osiągnięty. Ponownie sformułowane zostały wnioski, które podzielono na poznawcze i użytkowe. Pomimo, że korespondują z rezultatami badań, to w mojej ocenie mają one charakter zbyt ogólnikowy (nie zawierają odniesień do wartości parametrów analizowanych w pracy) i niektóre z nich są oczywiste lub znane (pierwszy i czwarty wniosek poznawczy).

Spis bibliografii zawiera 113 pozycji z czego ok. 84% to opracowania obcojęzyczne, a ok. 65% stanowią prace z ostatnich 10 lat, co należy ocenić pozytywnie.

2. Ocena rozprawy

Praca ma charakter teoretyczno-doświadczalny. Autor podjął badania procesu wytlaczania zeber usztywniających w cienkościennych blachach tytanowych. Głównym celem badań było określenie warunków procesu wytlaczania zapewniających jak najmniejsze zniekształcenie płaskich powierzchni wyrobów. Przeprowadzone badania właściwości mechanicznych i technologicznych wytypowanych blach tytanowych mają charakter kompleksowy i są potwierdzeniem umiejętności prowadzenia samodzielnych badań przez Doktoranta. Pozytywnie należy również ocenić umiejętność stosowania symulacji numerycznych i realizacji badań stanowiskowych procesu wytlaczania. Na wyróżnienie zasługuje zastosowanie nowoczesnego systemu bezdotykowego pomiaru odkształceń ARAMIS do wyznaczenia krzywych odkształceń granicznych oraz do badań odkształceń wytlaczanych blach.

Realizowany temat jest aktualny, a niektóre wyniki mają charakter poznawczy i praktyczny. Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta należy zaliczyć określenie wpływu warunków tarcia i siły docisku na przebieg procesu wytlaczania i jakość wyrobów z trzech gatunków tytanu: Grade 1, Grade 2, Grade 3. W wyniku zrealizowanych prac Doktorant wykazał słuszność tezy i osiągnął postawiony cel. Całość rozprawy oceniam pozytywnie.

Uwagi do pracy

Praca napisana jest poprawną polszczyzną i wykonana starannie pod względem edycyjnym. W tak dużej objętościowo pracy trudno ustrzec się niedociągnięć gramatycznych i usterek

technicznych, jednak jest ich stosunkowo niewiele. Z powtarzających się błędów należy wymienić brak osi symetrii na rysunkach 3.1, 3.19, 3.21, 3.27, 3.60 (s. 33, 68, 70, 80, 111), podawanie niewłaściwego gatunku tytanu Grade 4 zamiast Grade 1 (s. 33, 43), czy też podanie nieprawidłowych wartości współczynnika umocnienia dla wszystkich badanych materiałów (s. 34, 35). Niedociągnięcia te nie wpływają istotnie na jakość opracowania. Pozostałe, drobne usterki zostały zaznaczone w tekście i zostaną przekazane Doktorantowi w nadziei, że ustrzeże się ich w ewentualnej dalszej pracy naukowej.

Lektura rozprawy nasuwa również kilka uwag technicznych i problemowych.

1. W tezie przyjęto, że „zastosowanie ... możliwie największej siły docisku” pozwala na zmniejszenie zniekształceń wyrobu. Co oznacza pojęcie „możliwie największa siła”? Czy siła docisku materiału w procesach wytłaczania powinna być możliwie największa, czy też wynikiem badań powinna być jej minimalna wartość, zapewniająca prawidłowy przebieg procesu i założoną jakość wyrobu?
2. Docisk blachy do matrycy powinien być analizowany jako naciski powierzchniowe wyrażane w MPa, a nie jako siła wyrażana w kN. Uzyskane rezultaty miałyby wtedy charakter bardziej uniwersalny.
3. W analizach numerycznych we wszystkich przypadkach wytłaczania zastosowano cztery różne wartości siły dociskającej blachę. Nie zamieszczono natomiast żadnych wniosków dotyczących wartości tego parametru, pomimo, że wyniki symulacji uprawniają do ich sformułowania. Na podstawie uzyskanych rezultatów w poszczególnych przypadkach można było określić graniczne wartości sił docisku, powyżej których nie uzyskuje się istotnej poprawy dokładności wymiarowej wyrobu oraz istotnego zmniejszenia kąta sprężynowania powrotnego (np. wartość siły 1000 kN dla przypadku wytłaczania żebra krzyżowego z tytanu Grade 3 – tab. 3.36).
4. Jaką wartość miała siła docisku blachy w badaniach doświadczalnych opisanych w podrozdziale 3.3? W pracy nie podano tej informacji, pomimo, że siła ta została przyjęta jako zasadniczy parametr decydujący o jakości wyrobu.
5. Bardziej adekwatnym określeniem analizowanego w pracy procesu jest „wytłaczanie”, zamiast stosowanego „tłoczenia”, które obejmuje szeroką grupę procesów kształtowania blach, m.in. cięcie, gięcie, wytłaczanie i inne.
6. Wyroby wytypowane do analizy teoretycznej cechują się dwiema osiami symetrii, w związku z tym wyniki symulacji powinny również wykazywać symetryczność. Jak wytłumaczyć niesymetryczny rozkład sprężynowania powrotnego w płaszczyźnie blachy, który uzyskano w niektórych przypadkach (rys. 3.33b, 3.36a, 3.45a, 3.51b, 3.54a, b, 3.57a, b).

Niektóre powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy. Uważam, że ustosunkowanie się do nich Doktoranta wzbogaci podane treści.

3. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska zawiera samodzielne, oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn. Autor wykazał należyłą wiedzę oraz umiejętność prowadzenia pracy naukowej i prezentacji wyników.

Na podstawie podanej oceny stwierdzam, że opiniowana praca mgra inż. Marcina Dynera spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. nr 65 poz. 595 z późn. zm.). Wniosuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

