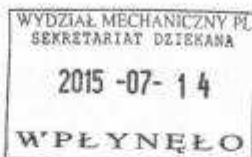


Prof. dr hab. inż. Romana Ewa Śliwa
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska



Rzeszów, 15.06.2015r.

RECENZJA

**Rozprawy doktorskiej mgr Katarzyny Dyji
nt." Tribologiczne aspekty kształtowania blach stosowanych w lotnictwie "**
przedstawionej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej.

I. Zakres opiniowanej rozprawy

Postęp techniczny w obszarze technologii wytwarzania różnych elementów konstrukcji zarówno od strony problemów odkształcalności różnych rodzajów materiałów metalicznych oraz elementów o różnych parametrach geometrycznych wiąże się ze wzrostem wymagań w stosunku do cech wyrobów uzyskiwanych w tych procesach ocenianych zarówno wg. osiąganych finalnych właściwości mechanicznych i innych, struktury wewnętrznej jak i z adekwatnym doбором warunków i parametrów procesu. Istnieje konieczność doskonalenia tych procesów w oparciu o analizę możliwości kształtowania zwłaszcza materiałów trudno odkształcalnych do których należą m.in. materiały stosowane w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym i w innych branżach.

Warunki eksploatacji obiektów latających wymagają stosowania do ich budowy materiałów o cechach szczególnych m.in. lekkich, o dużej wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej i odpornych na korozję. Do tradycyjnie stosowanych materiałów metalicznych należą stopy aluminium głównie z serii 2xxx i 7xxx ale też z grupy 8xxx-zaawansowane stopy oparte na układzie aluminium-lit oraz stopy tytanu i częściowo stopy na bazie żelaza, niklu i kobaltu.

Spśród różnych technologii kształtowania plastycznego elementów budowy środków transportu w tym samolotów technologia wytłaczania zajmuje szczególne miejsce umożliwiając formowanie przestrzennych wyrobów – części konstrukcyjnych z blach. Materiały stosowane na elementy wytłaczane w konstrukcjach różnych środków transportu w tym lotniczego to głównie stopy aluminium, tytan i jego stopy oraz stale nierdzewne na bazie niklu, żelaza i kobaltu. Wszystkie te materiały charakteryzują się stosunkowo niewielkiej tłocznością i niskimi właściwościami tribologicznymi. Istnieje zatem problem odpowiedniego doboru smarów technologicznych (nie oddziałujących szkodliwie na środowisko) a gwarantują pożądaną obniżenie oporów tarcia i umożliwiają wyeliminowanie naklejania kształtowanej blachy materiału na powierzchnie robocze narzędzi formujących. Zastosowanie dodatkowo powłok antyadhezyjnych może wzmacniać działanie smarów technologicznych i oddzielić powierzchnie narzędzi kształtujących od obrabianego materiału, co ma szczególne znaczenie w przypadku przerwania warstwy smaru na skutek dużych nacisków powierzchniowych, występujących podczas procesu wytłoczenia blach z materiałów trudno odkształcalnych. Problem odpowiedniego smarowania wymaga szczególnych rozwiązań przy kształtowaniu wyrobów z blach ze stopów aluminium i tytanu. Stan wiedzy oraz praktyka inżynierska w zakresie sposobów ograniczania negatywnych skutków tarcia podczas kształtowania na zimno blach ze stopów aluminium, materiałów tytanowych ale też ze stali nierdzewnej wskazuje na potrzebę poszukiwania lepszych rozwiązań w tym dotyczących problematyki doboru smarów i innych warunków realizacji procesu wytłaczania. Oprócz oczywistych

oczekiwanych wysokich cech jakościowych wytłaczanych wyrobów, pożądane jest poszukiwanie sposobów technologicznych ekonomicznie uzasadnionych jak też eliminujących negatywne oddziaływanie na środowisko. Dlatego też przedstawione w opiniowanej pracy opracowanie: -taniej i prostej receptury smaru ekologicznego, -sposobu skutecznego nanoszenia środka smarnego na materiał w celu ułatwienia płynięcia materiału podczas formowania i możliwości osiągnięcia większych, równomiernie rozłożonych w całej objętości materiału odkształceń w jednej operacji tłoczenia, -oraz wykazanie korzystnego działania powłok antyadhezyjnych uważam za uzasadnione a przedstawione środki realizacji tych celów za bardzo dobrze dobrane.

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera charakterystykę materiałów metalowych stosowanych w przemyśle lotniczym w tym przede wszystkim dotyczącą stopów Aluminium, tytanu i jego stopów oraz stopów na bazie niklu, kobaltu i żelaza na której opiera analizę technologicznych problemów wytłaczania blach trudno odkształcalnych, ze wskazaniem roli smarów technologicznych w procesach kształtowania blach. Przedstawione metody badań tribologicznych w odniesieniu do tłoczenia blach uzupełniają dokonana krytyczną analizę stanu zagadnienia, w oparciu o którą sformułowano tezę i cele rozprawy. Przedstawiony zrealizowany zakres badań własnych dotyczy tribologicznej charakterystyki kształtowania blach, wymagania stawiane smarom technologicznym i opracowane receptury smarów wytypowanych do badań oraz metody badania smarów technologicznych oraz powłok antyadhezyjnych. Określenie właściwości fizykochemicznych smarów technologicznych oraz wyznaczenie współczynników tarcia dla analizowanych par trących jest postawą oceny wpływu smaru technologicznego na proces wytłaczania i dokonania analizy numerycznej procesu wytłaczania blach. Doświadczalna weryfikacja obliczeń numerycznych uzupełnia rzetelne podstawy tej oceny a wykonane badania korozyjne oraz badania zmywalności dokumentują przedstawienie argumentów do przedstawienia koncepcji, wyników własnych badań oraz wniosków końcowych.

Spośród materiałów inżynierskich, których wytwarzanie w postaci wyrobów o szczególnych cechach do zastosowań technicznych w przemyśle lotniczym (m.in. złożoność kształtu części, duże gabaryty, wysokie własności mechaniczne), stopy na bazie aluminium czy tytanu a nawet pewne gatunki stali stanowią bardzo ważną pozycję i poszukuje się nadal różnych technologii w odniesieniu do tych materiałów i części z nich wykonywanych, które mogą jeszcze podlegać ulepszeniu. Należy też podkreślić, że pojawiające się problemy technologiczne wynikają m.in. z niedostatecznie poznanych mechanizmów procesów i zjawisk towarzyszących zarówno kształtowaniu plastycznemu w różnych warunkach (np. złożone kształty wytłoczek, problem wpływu na proces i materiał odkształcany oraz materiał narzędzia różnych smarów podczas wytłaczania blach) i powiązania jego skutków ze strukturą powierzchni i strukturą wewnętrzną odkształcanych materiałów, jak i w odniesieniu do teoretycznego modelowania procesu.

W praktyce przemysłowej poszukuje się stale sposobów coraz bardziej ekonomicznych rozwiązań przy utrzymaniu pożądanej wysokiej jakości wyrobu lub nawet jej podwyższeniu. Z tego tytułu deklarowane opracowanie wytycznych i zaleceń dla technologów zajmujących się wytłaczaniem na zimno wyrobów blach trudno odkształcalnych stanowi cenny efekt zrealizowanych badań w zakresie wytłaczania blach aluminiowych i tytanowych znajdują swoje uzasadnienie w zidentyfikowanych problemach tak naukowych jak i aplikacyjnych w przemyśle. W pracy przedstawiono wyniki szerokiego zakresu badań teoretycznych i uzupełniających eksperymentalnych, ale z odpowiednim odniesieniem do potrzeb praktyki przemysłowej. Badania eksperymentalne smarów technologicznych i powłok antyadhezyjnych obejmują: -analizę wpływu rodzaju, ilości i wielkości cząstek dodatku smarnościowego, -analizę sposobu

nanoszenia substancji smarującej na materiał, -analizę wpływu rodzaju powłoki na opory tarcia. Studia teoretyczne obejmują analizę wpływu smarowania na rozkład naprężeń i odkształceń w procesie kształtowania wytłoczek z wykorzystaniem symulacji numerycznej programem PAMStamp 2G, specjalnie przeznaczonego do analizy procesów wytłaczania blach. Opracowanie ekologicznego smaru technologicznego oraz sposobu jego nanoszenia stanowi wymierny efekt przeprowadzonych badań i stanowi dobrą alternatywę dla stosowanych komercyjnych smarów na bazie olejów mineralnych lub syntetycznych. Opracowanie własne składa się z dwóch zasadniczych części: doświadczalnej mającej na celu określenie skutecznych metod ograniczania negatywnych skutków tarcia podczas tłoczenia blach trudno odkształcalnych, oraz analizy numerycznej procesu kształtowania wybranych blach stosowanych w lotnictwie w celu wyznaczenia wpływu tarcia i smarowania na rozkład naprężeń i odkształceń w wytłoczce.

Na uwagę zasługuje dobrze opracowana metodyka badań, odpowiednio dostosowana do potrzeb każdej z części zrealizowanych badań teoretycznych w zakresie modelowania procesu oraz badań eksperymentalnych.

Oryginalnym osiągnięciem Autorki jest przebadanie różnych wariantów smarów technologicznych na bazie olejów roślinnych, niezawierających szkodliwych dla środowiska dodatków smarnościowych gwarantujących skuteczne obniżenie oporów tarcia oraz wyeliminowanie naklejania materiału na narzędzia kształtujące oraz dostosowanie powłoki antyadhezyjnej wzmacniającej działanie smarów technologicznych,

Oryginalnym osiągnięciem tej pracy jest możliwość wykorzystanie jej wyników do implementacji w przemyśle jako propozycji opracowanych ekologicznych smarów technologicznych (np. smar na bazie olejów roślinnych z dodatkiem nietoksycznego kwasu borowego lub stearynowego) oraz opracowane symulacje numeryczne procesu kształtowania sferycznych czasz z badanych materiałów dokonane z uwzględnieniem wpływu cech smaru technologicznego na proces tłoczenia blach z wykorzystaniem programu ADINA.

. II. Ocena merytoryczna rozprawy

a) Uwagi ogólne

Adekwatny dobór warunków przygotowania materiału wyjściowego blachy, dobór najkorzystniejszych parametrów realizacji procesu wytłaczania w powiązaniu ze skutkami zmian w wyniku zastosowania różnych smarów i różnie nanoszonych w obszar kontaktu materiał- narzędzie oraz zagadnienia projektowania procesu technologicznego w oparciu o modele numeryczne zawsze stanowi podstawowy problem w sterowaniu procesem (tu: problem wpływu smaru na efekt wytłaczania) zwłaszcza gdy poszukuje się rozwiązań coraz lepszych i bardziej ekonomicznych. Przedstawione w opiniowanej pracy wyniki analiz aktualnych problemów badawczych związanych z uzyskaniem ekologicznego smaru technologicznego oraz sposobu jego nanoszenia w oparciu o wyniki realizacji badań możliwości ograniczenia negatywnych skutków tarcia poprzez zastosowanie smarów na bazie olejów roślinnych, nie zawierających w swym składzie szkodliwych dla środowiska dodatków oraz -powłok antyadhezyjnych na narzędziach, jest celowe do zastosowania przez przemysł związany z tłoczeniem blach.

W pracy przedstawiono szczegółową analizę stanu zagadnienia w oparciu o 107 dobrze dobranych pozycji literaturowych krajowych i zagranicznych obejmujących najnowsze osiągnięcia w tej dziedzinie z uwzględnieniem pozycji już historycznych oraz najnowszych z 2014r. Wnioski z krytycznej analizy stanu zagadnienia oraz wnioski z praktyki przemysłowej pozwoliły doktorantce sformułować tezę pracy, określić

szczegółowe cele badań oraz przedstawić oryginalny program badań w celu jej udowodnienia.

Praca zawiera załączniki uzupełniające dotyczące opracowań statystycznych tj. oszacowania niepewności pomiarowych dla próby miseczkowania w różnych warunkach procesu i współczynnika tarcia wyznaczonego w próbie przeciągania pasa blachy przez matryce oraz graficzne przedstawienie potencjalnych wielkości błędów pomiarowych.

Problem naukowy pracy dotyczy analizy możliwości wykorzystania jako substancji bazowych olejów roślinnych, a jako dodatków smarowościowych nietoksycznych substancji o budowie krystalicznej zbliżonej do struktury cząsteczki grafitu, który jest powszechnie wykorzystywany jako dodatek zmniejszający współczynnik tarcia i kwasów tłuszczowych należących do niejonowych związków powierzchniowo czynnych, mających zdolność adsorbowania się na powierzchni metalu oraz -analizę możliwości wykorzystania powłok antyadhezyjnych na narzędziach dodatkowo zabezpieczających przed bezpośrednim stykiem kształtowanego materiału z narzędziem w chwili przzerwania filmu smarnego wskutek działania wysokich nacisków powierzchniowych towarzyszących kształtowaniu blach z materiałów trudno odkształcalnych.

Wykazano, że istnieje potrzeba opracowania skutecznych metod ograniczania negatywnych skutków tarcia podczas tłoczenia blach trudno odkształcalnych oraz dokonania analizy numerycznej procesu kształtowania wybranych blach stosowanych w lotnictwie w celu wyznaczenia wpływu tarcia i smarowania na rozkład naprężeń i odkształceń w wytłoczce.

W świetle przedstawionego programu badań i wyników jego realizacji cel pracy został osiągnięty.

W warunkach przemysłowych zastosowanie proponowanego rozwiązania dotyczącego opracowanych smarów i powłok zabezpieczających mogłoby dać szansę na spowodowanie realizacji bardziej efektywnego procesu, wytworzenie produktów finalnych bez wad i możliwe obniżenie kosztów wytwarzania. Przedstawione wyniki mogą być wykorzystane przy modyfikacji procesów tłoczenia blach ze stopów Al oraz stopów Ti czy innych gatunków stali z możliwością implementacji w przemyśle.

Ułożenie programu badań oraz zastosowane metody badawcze świadczą o dobrym wyczuciu problemu naukowego przez Autorkę, opanowaniu warsztatu badań eksperymentalnych i obliczeniowych i stosownym wykorzystaniu osiągnięć naukowych wykazanych w analizie stanu zagadnienia.

b) Uwagi szczegółowe

- Pracę cechuje jasne i czytelne przedstawienie zagadnienia badawczego zarówno od strony sformułowanych treści jak i formy rozprawy, zamieszczone komentarze szczegółowe przy prezentacji wyników ułatwiają ich analizę.
- Przedstawione graficzne schematy oraz wizualizacje wyników dobrze odzwierciedlają istniejące współzależności między parametrami materiału i procesu,
- Staranna edycja pracy, ze stosunkowo niewielką ilością błędów edytorskich (literówki , niekompletne podpisy pod rysunkami), cytowań pozycji literaturowych w podpisach rysunków z publikacji (np. rys. 1) , brak numeru rysunku na który się Autorka powołuje (np. str. 15) i nieściśłości terminologicznych.
- Rozprawa nie ma żadnego wstępu, który tradycyjnie występuje w tego typu pracach i który stanowiłby adekwatne wprowadzenie do przedstawianej problematyki naukowej pracy oraz uzasadnienie jej podjęcia wraz ze związłą informacją o zasadniczej treści pracy i miejscu wykonania,

- W podsumowaniu pracy i wnioskach końcowych brak jest określenia wprost deklarowanych (schemat na rys.7) opracowanych wytycznych i zaleceń dla technologów zajmujących się tłoczeniem na zimno wyrobów z blach trudno odkształcalnych. Cennym byłoby zebranie wyników np. w postaci tabeli uwzględniającej rodzaj materiału, grubość blachy i jej cechy oraz stosowne odniesienie do wariantu smaru, powłoki antyadhezyjnej.

W świetle przedstawionych wyników i ich interpretacji przez Doktorantkę nasuwają się następujące pytania:

- 1) Jak Doktorantka ocenia możliwość wykorzystania określonych w pracy właściwości fizykochemicznych opracowanych smarów technologicznych (lepkość, współczynnik tarcia) do zastosowań szerszych (inne materiały) ?
- 2) Jak określono kryteria wyboru powłok antyadhezyjnych i ich skuteczność ? Czy i jak zależą one od rodzaju materiału narzędzia i materiału odkształcanego ?
- 3) Jak przygotowano powierzchnię materiałów do badań wpływu określonego smaru na wartość współczynnika tarcia dla danej pary trącej ?
- 4) Jak Doktorantka ocenia poziom istotności oszacowanych błędów w prezentowanych wynikach i jak to przekłada się na ocenę stosowalności modelu i wykorzystania w praktyce inżynierskiej ? Proszę skomentować przedstawione w załącznikach oszacowania niepewności pomiarowych dla próby miseczkowania w różnych warunkach procesu i współczynnika tarcia wyznaczonego w próbie przeciągania pasa blachy przez matryce oraz graficzne przedstawienie potencjalnych wielkości błędów pomiarowych.
- 5) Czym kierowała się Doktorantka przy wyborze materiałów do badań oraz metod teoretycznej analizy z wykorzystaniem proponowanych modeli w kontekście wykorzystania wyników do aplikacji w przemyśle?

Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska mgr Katarzyny Dyji stanowi istotny wkład w wiedzę pozwalającą na efektywną poprawę technologii w procesach wytłaczania, w szczególności blach ze stopów aluminium i tytanu.

Autorka osiągnęła zamierzony cel wykazując się ugruntowaną znajomością zagadnień technologicznych, metaloznawczych, chemicznych oraz nowoczesnej metodyki i technik badawczych w tym modelowania numerycznego z wykorzystaniem narzędzi i metod adekwatnie dobranych do analizowanej problematyki badawczej. Wykazała się umiejętnością rozwiązywania postawionych zadań i pracy naukowej.

Należy zwrócić ponadto uwagę na bardzo dobre przygotowanie merytoryczne doktorantki, której profil chemiczny wykształcenia oraz nabyte wieloletnie doświadczenie w realizacji naukowych i inżynierskich zadań badawczych w zakresie mechaniki i przeróbki plastycznej różnych rodzajów materiałów dodatkowo przyczynił się do dobrej realizacji pracy tej pracy doktorskiej.

Rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim w myśl aktualnej Ustawy Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym .

Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie Autora pracy do publicznej obrony.

D. Słuzka