

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Julity WINOWIECKIEJ

nt. "Kształtowanie plastyczne blach ze stopów tytanu i aluminium stosowanych w przemyśle lotniczym" wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 30 września 2014 r.

1. Przedmiot oceny

Recenzja dotyczy pracy doktorskiej obejmującej 164 strony, 61 rysunków i 8 tablic. Praca została napisana w klasycznym układzie. Zawiera spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń, przegląd literatury, cel pracy, wyniki badań własnych i wnioski oraz wykaz literatury. Obejmuje zagadnienie procesu tłoczenia blach ze stopów tytanu i aluminium stosowanych w przemyśle lotniczym. Wiąże się z prowadzonymi w ostatnich latach badaniami w wielu ośrodkach nad wytwarzaniem wyrobów z nowych materiałów dla przemysłu samochodowego, lotniczego, bardziej wytrzymałymi, lżejszymi i odpornymi na korozję. Cechy te posiadają stopy tytanu i aluminium, ale te stopy, które dają wysoką wytrzymałość charakteryzują się małą plastycznością w temperaturze pokojowej oraz podatnością do pęknięcia w procesach tłoczenia. Niska podatność do tłoczenia ogranicza powszechne wykorzystanie wysokowytrzymałych stopów tytanu, a w mniejszym aluminium w charakterze materiałów konstrukcyjnych, zwłaszcza na skomplikowane wytłoczki o dużym stopniu przetłoczenia.

Realizacja badań w zakresie kształtowania plastycznego stopów tytanu i aluminium ma charakter aktualny i nowatorski, jest w pełni uzasadniona, a tym samym spełnia oczekiwania w aspekcie naukowym. Ma znaczenie zarówno poznawcze jak i technologiczne. Jednocześnie wiąże się z realizowanym projektem kluczowym nt. „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym”, w którym zadanie 8 dotyczy kształtowania plastycznego stopów aluminium i tytanu. W pracy zawarto charakterystykę właściwości blach ze stopów

tytanu i aluminium, problemy technologiczne w procesie kształtowania wyrobów z tych materiałów, badania właściwości mechanicznych i technologicznych oraz wyniki modelowania matematycznego procesu tłoczenia z wsadów klasycznych i łączonych typu tailored blanks. Na podkreślenie zasługują zawarte w pracy wyniki symulacji numerycznych oraz ich porównanie z wynikami badań doświadczalnych. Bibliografia zawiera 130 cytowania, w tym cztery pozycje z udziałem Autora. Do przyjęcia są proporcje zawartości przeglądu piśmiennictwa, badań własnych oraz podsumowania wyników badań. Zamieszczony w pracy materiał ilustracyjny w postaci wykresów i tabel dostatecznie podkreśla wyniki badań własnych i w wystarczającym stopniu stanowi wsparcie merytoryczne dla wniosków końcowych rozprawy. Autorka używa poprawnej terminologii technicznej. Rozprawa napisana jest w języku polskim.

2. Ogólna ocena pracy

Studium literaturowe obejmuje zagadnienia dotyczące tematyki pracy i składa się z dwóch części. Pierwsza część zawiera podstawowe informacje dotyczące rodzajów, właściwości mechanicznych i zastosowania blach ze stopów aluminium, stopów tytanu oraz blach spawanych laserowo Tailor Welded Blanks. Drugi rozdział dotyczy wymagań stawianym wyrobom ze stopów aluminium i tytanu oraz problemom technologicznym występujących przy ich wytwarzaniu. Ten rozdział zawiera streszczenia kilkunastu prac, gdzie Autorka używa wielu pojęć takich jak kształtowanie, formowanie, plastyczność, odkształcalność nie podając miar tych wielkości. Unika pojęcia tłoczności blach i wyszczególnienia analizowanych operacji tłoczenia. Należałoby wyjaśnić takie stwierdzenia jak: wielkość współczynnika anizotropii płaskiej świadczy o utrudnionych możliwościach obróbki plastycznej, zredukowanie wielkości wykładnika umocnienia skutkuje zmniejszeniem odkształcalności, określenie odkształcalności w próbie wytłaczania półkulistej czaszy i następnie zaobserwowanie poprawy całkowitego wydłużenia w próbie rozciągania, jak podczas formowania wytłoczek można wykorzystać graniczny współczynnik tłoczenia, w jaki sposób większa wartość modułu umocnienia prowadzi do zwiększenia wartości odkształceń i wydłużenia, co skutkuje przesunięciem krzywej odkształceń w górę, na czym polega metoda wciskania wgłębniaka (indentacja), która pozwala na charakteryzowanie właściwości sprężysto-plastycznych, na czym polega metoda pierścieni w ocenie sprężynowania powrotnego. Pewne stwierdzenia są powszechnie znane, takie jak: zastosowanie smarów obniża współczynnik tarcia, wzrost temperatury powoduje obniżenie właściwości wytrzymałościowych oraz przyrost wydłużenia, a także zmniejszenie

sprężynowania, brak dociskacza prowadzi do falowania kołnierza i utrudnia wykonanie wytłoczki. Co oznacza stwierdzenie, że zastosowanie wyższego współczynnika tarcia potwierdza ułatwione płynięcie materiału i prowadzi do poprawy odkształcalności? W tej części pracy nie przedstawiono ani graficznie ani tabelarycznie omawianych zależności, co utrudnia zrozumienie przekazywanych treści. Szkoda, że części literaturowej nie zakończono podsumowaniem w którym zawarto by najważniejsze wnioski wynikające z przeglądu piśmiennictwa i wskazano jakie są niejasności i braki w technologii tłoczenia wysokowytrzymałych stopów aluminium i tytanu.

W rozdziale 4 sformułowano cel pracy i cel szczegółowy. Dyskusyjnym jest sformułowanie, że celem pracy jest określenie możliwości kształtowania plastycznego blach aluminiowych np. na owiewki i wyszczególnienie, że przedmiotem analizy będą podstawowe parametry procesu tłoczenia. Można mieć wątpliwości co do celu naukowego rozprawy, tym bardziej, że Autor nie stawia tezy pracy. Należy zatem przyjąć, że przedstawiona praca doktorska ma charakter technologiczny, a jej celem jest opracowanie technologii tłoczenia owiewki samolotu z wysokowytrzymałych blach aluminiowych i tytanowych z uwzględnieniem modelowania fizycznego i numerycznego. Dobrze, że podano schemat programu badań własnych, co ułatwia ocenę zakresu badań własnych.

Badania własne obejmują badania właściwości mechanicznych, badania doświadczalne i modelowanie numeryczne. Rozpoczyna je zawarta w rozdziale 5 metodyka wyznaczania właściwości mechanicznych z próby rozciągania. Tej próbie Autorka poświęciła 22 strony pracy. Moim zdaniem zbędne jest przedstawienie sposobu wyznaczania podstawowych wielkości, tabel z numeracją pojedynczych próbek, ich wymiarami, temperatury próby i prędkości liniowej trawersy, które są wartościami stałymi, zdjęć wszystkich próbek po rozciąganiu.

Doktorantka przedstawia sposoby pomiaru odkształceń, ale nie przedstawia jak wyznaczono umowną granicę plastyczności, tym bardziej, że przedstawione wykresy siły rozciągania w funkcji wydłużenia dla aluminium budzą wątpliwości, co do dokładności jej wyznaczenia. Jak wyznaczono wydłużenie części pomiarowej próbki do osiągnięcia maksymalnej siły i po zerwaniu, skąd taka dokładność wyznaczenia wydłużenia? Z czego wynika zróżnicowanie szerokości i grubości próbek na jednym materiale a brak na innym? Wyjaśnieniu wymaga zastosowanie próbki proporcjonalnej o długości $5x_d$, czyli 100 mm, kiedy powszechnie dla blach stosuje się próbkę nieproporcjonalną o długości pomiarowej 50 i 80 mm. Autorka rozprawy analizowała właściwości blach na podstawie wyników rozciągania próbek wyciętych pod różnym kątem w stosunku do kierunku walcowania.

Nie odnosi się jednak do możliwości określenia tak istotnych wielkości charakteryzujących tłoczność jak anizotropia normalna i płaska.

W podrozdziale 5.2 dotyczącym wyznaczania odkształceń granicznych Autorka wprowadza szereg pojęć, które nie znajdują się w spisie oznaczeń, a znajdują się w nim wymiary części uchwytowej próbki. Jakże były kryteria doboru wielkości zawartych w spisie oznaczeń? Zwracam uwagę na stosowanie różnych miar odkształcenia w równaniach na str. 44-46. Co oznacza odkształcenie południkowe, długość l_1 i l_2 , jak zależy naprężenie uplastyczniające od ciśnienia, dlaczego zastosowano do wyznaczenia granicznej krzywej tłoczenia blach aluminiowych próbki kwadratowe i jak to się odnosi do obowiązujących norm w tym zakresie, jaki wymiar oczka siatki zastosowano, dlaczego zastosowano dwie średnice krążków i jak proces tłoczenia realizowano na maszynie wytrzymałościowej?

Nie przekonuje mnie wyjaśnienie doboru materiałów zapotrzebowaniem przemysłu lotniczego. Moim zdaniem należy dokładniej uzasadnić dobór tak różnych materiałów jak aluminium i tytan, przyjęcie tak wielu rodzajów blach o różnych grubościach. Autorka nie podaje analiz składu chemicznego blach i podstawowych właściwości mechanicznych według atestów, nie podaje stanu materiału, a ten ma podstawowy wpływ na właściwości mechaniczne i tłoczność blach. Może należało ograniczyć badania do wybranego wysokowytrzymałego stopu aluminium i tytanu, a zróżnicować stan materiału do tłoczenia? Autorka nie komentuje dlaczego graniczne krzywe tłoczności wyznaczono dla stopów aluminium, a brak jest krzywych dla stopów tytanu. Również zauważyć można brak gięcia na U dla blach aluminiowych.

Na uwagę zasługuje zastosowanie oprogramowania Pam-Stamp 2G do symulacji procesu tłoczenia blach aluminiowych i tytanowych, co zawarto w rozdziale 7. Zastanawiający jest brak zgodności wyników symulacji numerycznej procesu gięcia z wynikami badań doświadczalnych. Czy to zróżnicowanie nie wynika z przyjętej funkcji naprężenia uplastyczniającego i dokładności określenia wartości wykładnika umocnienia, który osiąga bardzo małe wartości dla stopów o wysokiej granicy plastyczności. Również wymaga wyjaśnienia na jakiej podstawie przyjęto wartości K i n dla spoiny i SWC, wymiar spoiny, a także wartości współczynnika tarcia w modelowaniu procesu tłoczenia. Wymaga również doprecyzowania rodzaj odkształceń plastycznych pokazanych na rys. 7.15, 7.16. Symulacje procesu tłoczenia wsadów spawanych wskazują na pękanie materiału albo od strony materiału o większej wytrzymałości albo o mniejszej, zależnie od sposobu przygotowania wsadów. Czy jest to teoretycznie uzasadnione, czy też umiejscowienia pęknięcia zależy od rodzaju spoiny

i parametrów spawania? Nie znajduję informacji, co do grubości materiałów łączonych, czy blachy składowe są tej samej grubości?

Wartościowym jest, że oprócz modelowania procesu tłoczenia prostej wytłoczki Doktorantka wykonała optymalizację procesu tłoczenia wytłoczki mającej zastosowanie w przemyśle lotniczym tzw. owiewki. Wskazała, że drogą symulacji numerycznej można dobrać takie parametry procesu tłoczenia, które pozwalają na otrzymanie owiewki lotniczej ze stopu tytanu o pożądanej geometrii. Poprawność wyników symulacji została potwierdzona badaniami doświadczalnymi.

Badania realizowane przez Doktorantkę są obszerne i dogłębne. Do największych Jej osiągnięć należy zaliczyć wykazanie współzależności pomiędzy siłą docisku, współczynnikiem tarcia a tłocznością wysokowytrzymałych stopów aluminium i tytanu, a także wsadów spawanych, określenie dla tych materiałów wielkości sprężynowania oraz zastosowanie metod numerycznych do analizy procesu tłoczenia i gięcia.

Uzyskane wyniki badań należy uznać za wartościowe i w dużym stopniu jako oryginalne osiągnięcie Autora rozprawy. Idea rozwiązania postawionego celu zasługuje na uznanie, chociaż w sposób realizacji badań i interpretacji wyników budzi pewne uwagi dyskusyjne, które zawarłem w recenzji. Praca także w wielu fragmentach przybrała formę raportu z badań, co nie jest korzystne. Wymienione wątpliwości nie obniżają jednak pozytywnej oceny pracy, a jedynie mogą być pomocne przy publikowaniu wyników pracy i dalszych badaniach.

3. Wniosek końcowy

Przedstawione w pracy doktorskiej wyniki badań mają wartość poznawczą i naukową. Należy docenić osiągnięcia Autora dotyczące przygotowania materiałów doświadczalnych, wykonania obszernych badań właściwości mechanicznych i technologicznych oraz opanowania symulacji numerycznej procesu gięcia i tłoczenia. Doktorantka wykazała się niezbędną wiedzą, umiejętnością twórczego prowadzenia badań eksperymentalnych oraz ich analizy, co pozwala pozytywnie ocenić pracę doktorską mgr inż. Julity Winowieckiej.

Stwierdzam, że opiniowana praca doktorska nt. „Kształtowanie plastyczne blach ze stopów tytanu i aluminium stosowanych w przemyśle lotniczym” spełnia wymagania stawiane w Ustawie o Stopniach i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule Naukowym w Zakresie Sztuki i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Julity Winowieckiej do publicznej obrony.

Eugeniusz Haderik