

	PAŃSTWOWA WYŻSZA SZKOŁA ZAWODOWA w CHEŁMIE
	INSTYTUT NAUK TECHNICZNYCH I LOTNICTWA
	ul. Poczтовая 54, 22-100 Chełm, tel.: +48 82 565 88 95; fax: +48 82565 88 94

dr hab. inż. Arkadiusz Tofil,
 profesor uczelni
 atofil@pwsz.chelm.pl

Chełm, 3.09.2021r.

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgra inż. Bogdana Krasowskiego pod tytułem „Analiza procesu kształtowania przyrostowego usztywnień w cienkościennych konstrukcjach nośnych wykonanych ze stopów aluminium EN AW-2024-T3 oraz EN AW-7075-T6”

Podstawą opracowania recenzji pracy jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechanicznej Politechniki Rzeszowskiej im Ignacego Łukasiewicza dr hab. inż. Andrzeja Burghardta, prof. PRz. nr RM-530-06-04/20/2021

1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Praca doktorska przedłożona do recenzji poświęcona jest rzadko stosowanej technologii przyrostowego formowania blach. W prostej formie tego typu kształtowanie powierzchni nierozwijałnych blach jest stosowane jako proces wyoblania, jednakże z uwagi na ograniczenie możliwości kinematyki ruchu narzędzia metoda wyoblania może być wykorzystywana tylko do wyrobów osiowo symetrycznych. Przyrostowe formowanie blach z wykorzystaniem frezarek CNC może być korzystną alternatywą dla technologii tradycyjnych opartych na konwencjonalnych układach narzędziowych. Szczególną zaletą stosowania tej metody kształtowania jest możliwość łatwego przygotowania narzędzi do wykonania danej operacji kształtowania blach. Jednocześnie bardzo ważnym argumentem przemawiającym za możliwością rozwoju i częstszego stosowania tej technologii jest dostępność frezarek

sterowanych numerycznie w większości zakładów przemysłowych. Powyższe argumenty w pełni potwierdzają zasadność wyboru tematu pracy a opracowany materiał przyczyni się do rozwoju technologii przyrostowego kształtowania blach w tym w szczególności blach ze stopów aluminium.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska zawiera 194 strony i jest podzielona na wstęp i 6 rozdziałów, z których 4 stanowią badania własne i zawierające się na 118 stronach. We wstępie pracy doktorant uzasadnia celowość podjętych badań oraz wskazuje główne czynniki determinujące możliwości rozwoju technologii, obejmujące zarówno aspekty technologiczne jak również uwarunkowania ekonomiczne.

Pierwszy rozdział stanowi obszerny przegląd literatury obejmujący zarówno charakterystykę tradycyjnych metod kształtowania blach jak również przedstawienie istoty jednopunktowego przyrostowego kształtowania. W ramach tego rozdziału doktorant dokonał opisu zjawisk występujących w czasie stosowania omawianej technologii. Należy podkreślić znaczną liczbę pozycji literaturowych cytowanych w niniejszej pracy i znaczący wkład pracy doktoranta uwzględniający konieczność tłumaczeń pozycji głównie angielskojęzycznych.

Dokonując oceny pierwszego rozdziału pracy należy stwierdzić odpowiedni dobór materiałów źródłowych oraz właściwe przedstawienie technologii, jej ograniczeń, wymagań zarówno maszynowych jak też narzędziowych oraz możliwości modelowania numerycznego procesów przyrostowego kształtowania blach. Jednocześnie wskazanie obszaru możliwego stosowania omawianej technologii bezpośrednio w chirurgii rekonstrukcyjnej jest bardzo trafne bo w pełni oddaje oczekiwania dla metody wręcz jednostkowej produkcji i pełnej elastyczności w szybkim dostosowaniu się do zmiennych oczekiwań stawianym wytwarzanym elementom.

W rozdziale drugim przedstawiono tezę i cel pracy. Zarówno teza jak i cel pracy są zrozumiałe i informują o zakresie podjętych badań. Złożoność analizowanego procesu wymagała przeprowadzenia licznych prób formowania o czym doktorant bezpośrednio informuje w ramach opisu celu pracy. Badania prowadzono dla trudno odkształcalnych stopów aluminium EN AW-2024-T3 oraz EN AW-7075-T6 co stawiało jeszcze większe wyzwanie dla prac badawczych.

Rozdział trzeci, czwarty i piąty stanowią szczegółowy opis prowadzonych badań. Doktorant w sposób właściwy przedstawił przyjętą metodykę oraz w wyczerpujący sposób

przedstawił kolejne etapy realizowanych prac. W pracy zostały przedstawione zarówno właściwości stopów aluminium wykorzystanego w badaniach jak również został wskazany stan w jakim występowały, co jest niezbędną informacją o danym stopie aluminium. W pracy zostały opisane narzędzia i przyrządy do kształtowania, badania dotyczące doboru środka smarnego obejmujące analizy olejów niemodyfikowanych oraz zawierających nanocząsteczki TiO_2 i SiO_2 . Ich wyniki wskazały na zasadność stosowania oleju przekładniowego bez modyfikatorów. Jednocześnie w tym zakresie doktorant uzasadnił konieczność przeprowadzenia kolejnych badań tarcia obejmujących rzeczywistą kinematykę ruchu narzędzi w procesie kształtowania przyrostowego. W części opisującej badania własne zostały przedstawione wyniki kształtowania paneli z przetłoczeniami. Do opracowania programu sterującego dla frezarki CNC wykorzystano system EdgeCAM. Badania prowadzono dla głębokości jednego przejścia narzędzia od 0,2 do 0,5 oraz prędkości obrotowej narzędzia 18, 110 i 202 obr/min. Wyniki prób dla blach o grubości 0,4, 0,8 i 1mm przedstawiono w tabelach zbiorczych.

Dużą uwagę doktorant poświęcił na analizę powierzchni kształtowanych blach. Stosował metody analizy fraktograficznych identyfikując charakter zniszczenia materiału. Dokonał analizy topografii powierzchni z wykorzystaniem profilometru optycznego Talysurf CCI Lite a ponadto została przeprowadzona analiza z pomocą sieci neuronowych, z której uzyskano informację, że zwiększenie głębokości przejścia narzędzia wpływa na zwiększenie wartości parametru chropowatości powierzchni.

Doktorant w ramach pracy opracował model numeryczny realizowanego kształtowania przetłoczeń usztywniających bazując na programie ABAQUS wykorzystującym metodę elementów skończonych MES. W symulacji uwzględnił modele geometryczne matrycy oraz trzpienia odpowiadające rzeczywistym wymiarom. W wynikach obliczeń numerycznych przedstawionych w pracy na uwagę zasługuje istotna różnica w wartości pocienienia ścianek porównując metodę kształtowania przyrostowego do metody tradycyjnej tj. kształtowania za pomocą stempla. Pocienienie dla metody przyrostowej wyniosło 26,5% zaś dla metody tradycyjnej jedynie 15,5%. Te wartości stanowią istotne ograniczenie, które należy uwzględnić przy doborze właściwej technologii kształtowania.

Kolejną grupą wyników prac stanowiących uzupełnienie do analizy procesu kształtowania przyrostowego jest obszerny opis badań wytłoczek z przetłoczeniami

usztyniającymi. Badania prowadzono zarówno dla obciążeń statycznych jak też dynamicznych stosując różną energię uderzeń w ramach stanowiska laboratoryjnego z młotem opadowym. Interesującym wzbogaceniem przedstawionego materiału jest zawarcie danych uzyskanych z systemu ARAMIS obejmujących analizę przebiegu odkształcenia. System ten umożliwia rejestrację deformacji badanej próbki oraz przedstawienie pól odkształceń na modelu wirtualnym. Doktorant w oparciu o przeprowadzone badania w sposób właściwy ocenił możliwość wykorzystania badanych konstrukcji z blachy, w której zastosowano wytłoczone elementy wzmacniające.

Uzupełnieniem przedstawianych wyników jest również analiza powierzchni narzędzia po procesie kształtowania przyrostowego. Doktorant słusznie podkreśla, że zagadnienia trwałości narzędzi dla tradycyjnych procesów tłoczenia są już dobrze poznane i opisane w literaturze, zaś trwałość narzędzi w procesie kształtowania przyrostowego jest ciągle obszarem wymagającym szczegółowych badań. Można wnioskować, że przeprowadzone przez doktoranta badania i obserwacje potwierdzają, że jednym z istotnych problemów obejmujących trwałość narzędzi jest zanieczyszczanie narzędzia materiałem pochodzącym z kształtowanych blach.

Rozdział szósty to wnioski będące syntetycznym podsumowaniem wynikającym z przeprowadzonych badań teoretyczno-doświadczalnych. Zawartość rozdziału ocenia się jako prawidłowy i znajdujący podstawy w materiale przedstawionym w pracy.

Praca doktorska zakończona jest spisem bibliograficznym zawierającym 226 pozycji.

2. Ocena rozprawy doktorskiej

Doktorant mgr inż. Bogdan Krasowski wykonał badania procesu kształtowania przyrostowego usztynień z w cienkościennych konstrukcjach nośnych wykonanych ze stopów aluminium. Podjęta tematyka jest istotna z uwagi na ciągłe dążenie do oszczędności finansowych przedsiębiorstw w zakresie wykonywania prototypów lub produkcji małoseryjnej. Jednocześnie technologia będąca przedmiotem niniejszej pracy bazuje na wykorzystaniu frezarek CNC, które stanowią obecnie wręcz podstawowe wyposażenie większości zakładów przemysłowych. Doktorant w oparciu o wykonane badania i uzyskane wyniki przedstawił obszerną analizę procesu jednopunktowego formowania przyrostowego tym samym realizując cel pracy i potwierdzając postawioną tezę pracy. Warto podkreślić

wysoki poziom umiejętności posługiwania się narzędziami badawczymi takimi jak programy do wykonywania symulacji numerycznych bazujących na metodzie elementów skończonych MES czy też sztucznych sieci neuronowych. Oceniając całą pracę należy wskazać iż uzyskanie wyników w niej przedstawionych wymagało dużego wysiłku ze strony doktoranta a wręcz można ocenić, że przyjęty plan badań jest zbyt szeroko rozbudowany jak na rozprawę doktorską. Praca jest bardzo obszerna co może świadczyć o pewnych trudnościach autora w zwięzłym formułowaniu opisów prowadzonych badań jak również w klasyfikowaniu informacji istotnych i powszechnie znanych. Wartością dla rozwoju technologii kształtowania przyrostowego są uwagi doktoranta zawarte w pracy wskazujące na obszary wymagające kolejnych prac badawczych, które mam nadzieję doktorant będzie kontynuował.

Odnosząc się do obszaru edytorskiego pracy należy stwierdzić, że autor przedstawia wyniki swojej pracy w sposób poprawny, stwierdzenia i dobór słów odpowiadają treściom, do których się odnoszą a tabele zawarte w pracy są w pełni czytelne i zrozumiałe. W tak dużej pracy nie sposób jednak uniknąć również błędów. Główne zastrzeżenia odnoszą się do drobnych pomyłek edycyjnych np. str. 41 wiersz 4 czy też str. 59 wiersz 13, bądź częściowo złej jakości rysunków np. rys. 1.21, czy też rysunków będących zrzutami z programu sterującego pracą obrabiarki rys. 1.31. i mało czytelnymi zrzutami ekranu np. rys. 4.18. Wskazanie powyższych drobnych błędów ma na celu tylko uwypuklenie tego aspektu aby w przyszłych pracach naukowych doktoranta ten obszar również był właściwie sprawdzony.

Mimo drobnych uwag edycyjnych oraz w pewnym stopniu zbyt szeroko przyjętego zakresu badań całość rozprawy oceniam pozytywnie. Doktorant wykazał słuszność postawionej tezy naukowej a ponadto wykonanymi pracami badawczymi przyczynił się do rozwoju technologii kształtowania przyrostowego blach ze stopów aluminium.

3. Pytania do pracy

Praca zawiera pewne informacje i stwierdzenia, które w mojej ocenie wymagają wyjaśnienia:

1. W pracy znajdują się informacje o łatwości wykorzystania frezarek CNC do kształtowania przyrostowego. Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób podawany jest

środek smarny podczas realizowania kształtowania blachy i czy występuje konieczność stosowania specjalnych układów podawania środków smarnych?

2. Czy występowały jakieś ograniczenia w kinematyce ruchu frezarki, które w ocenie doktoranta znacząco zawężyły możliwość uzyskania lepszej jakości wytłoczki?
3. Jaką dokładność pozycjonowania posiadała frezarka wykorzystana do badań?
4. Proszę o wyjaśnienie skąd stwierdzenie o większym prawdopodobieństwie występowania śladów drgań na powierzchni kształtowanej blachy dla wyższych prędkości obrotowych narzędzia?

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Bogdana Krasowskiego pod tytułem „Analiza procesu kształtowania przyrostowego usztywnień w cienkościennych konstrukcjach nośnych wykonanych ze stopów aluminium EN AW-2024-T3 oraz EN AW-7075-T6” stanowi wartościowe opracowanie zagadnienia naukowego. Autor wykazał należyłą wiedzę oraz wniósł własny wkład w rozwój technologii kształtowania przyrostowego blach ze stopów aluminium.

W świetle powyższej oceny należy stwierdzić, że przedstawiona do recenzji rozprawa spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

A. Krasowski To file.