

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

**pt. Analiza wpływu rodzaju powłoki narzędzia i strategii obróbki na jakość powierzchni
i odkształcalność blach tytanowych w procesie formowania przyrostowego**

1. Omówienie recenzowanej pracy

Opracowana przez mgra inż. Marcina Szpunara rozprawa doktorska dotyczy procesu kształtowania przyrostowego blach z tytanu CP-Ti Gr2 i stopu tytanu Ti-6Al-4V. Rezultaty prac badawczych osiągnięte zostały głównie na podstawie badań doświadczalnych, wzbogaconych analizami teoretycznymi. Technologie kształtowania przyrostowego rozwijają się dynamicznie z uwagi na ich zalety. Duża elastyczność wynikająca z możliwości stosowania tych samych narzędzi do wytwarzania wielu różnych wyrobów o złożonych kształtach jest nieoceniona przy szybkim i tanim wykonaniu części prototypowych lub produkowanych w małych seriach. Małe siły kształtowania i miejscowe oddziaływanie narzędzi w przypadku blach umożliwiają uzyskiwanie większych odkształceń niż w tradycyjnych procesach wytłaczania. Ma to szczególne znaczenie przy kształtowaniu blach ze stopów tytanu $\alpha + \beta$, takich jak stop Ti-6Al-4V, które w temperaturze otoczenia mają bardzo małą tłoczność, co najczęściej ogranicza procesy obróbkowe do wykrawania i ewentualnie dotłaczania. Uwzględniając zalety kształtowania przyrostowego blach należy stwierdzić, że wszelkie prace zmierzające do rozwoju tej technologii oraz do podnoszenia jakości wyrobów, w szczególności w odniesieniu do materiałów trudno odkształcalnych są w pełni uzasadnione. Podjęta w rozprawie tematyka badawcza jest bez wątpienia aktualna i bardzo ważna zarówno w aspekcie naukowym, jak też użytkowym.

Praca napisana jest w języku polskim, liczy 232 strony i podzielona jest na 7 rozdziałów, uzupełnionych spisem treści, wykazem ważniejszych oznaczeń i skrótów, bibliografią, streszczeniem w języku polskim i angielskim, a także dokumentacją konstrukcyjną przyrządu do realizacji badań.

Wprowadzenie (rozdział pierwszy) stanowi zasygnalizowanie tematyki badawczej. Autor przedstawił znaczenie tytanu i jego stopów w technice oraz krótko scharakteryzował kształtowanie przyrostowe blach. Dalszą część wprowadzenia stanowi streszczenie treści rozprawy, które informuje o zakresie zrealizowanych prac badawczych.

Rozdział drugi zawierający studium literatury podzielony jest na cztery główne podrozdziały.

W pierwszym z nich zamieszczono opis stopów tytanu α , $\alpha+\beta$ oraz β , poświęcając więcej uwagi materiałom wybranym do badań: tytanowi Ti-CP Gr 2 i stopowi Ti-6Al-4V. W kolejnym podrozdziale podano charakterystykę kształtowania przyrostowego, w szczególności kształtowania jednopunktowego (SPIF). Omówiono parametry procesu wpływające na siłę kształtowania, chropowatość powierzchni, jakość geometryczną i wady wyrobów, a także opisano stosowane narzędzia. Przedstawiono podział przyrostowego kształtowania blach ze względu na różne kryteria. Opisano również wybrane zagadnienia dotyczące tarcia i smarowania. Następnie powrócono do tematyki jednopunktowego kształtowania przyrostowego blach w podwyższonej temperaturze, skupiając się głównie na metodach podgrzewania wsadu. W trzecim podrozdziale podano zalety stosowania symulacji opartych na metodzie elementów skończonych (MES), a także przytoczono szereg przykładów z literatury. Dotyczyły one głównie procesów analizowanych w warunkach termomechanicznych, przy wykorzystaniu różnych rodzajów programów opartych na MES, w szczególności związanych z kształtowaniem przyrostowym tytanu CP-Ti Gr 2 oraz stopu Ti-6Al-4V. Scharakteryzowano modele materiałowe stosowane w symulacjach MES, w szczególności w odniesieniu do procesu kształtowania przyrostowego. W ostatnim podrozdziale zamiast tytułowych wniosków przedstawiono raczej podsumowanie przeglądu literatury, przytaczając jednocześnie ogólne informacje dotyczące realizacji rozprawy, tj. użytej w badaniach metody planowania eksperymentu, założonej geometrii wytłoczek, wyznaczania współczynnika tarcia.

W ogólnej ocenie rozdziału należy stwierdzić, że podane informacje są bezpośrednio związane z tematem rozprawy. Układ treści jest prawidłowy, z małym zastrzeżeniem. Mianowicie podrozdział 2.2.3 powinien być zredagowany bezpośrednio po podrozdziale 2.2.1 lub oba podrozdziały powinny być połączone w jeden z uwagi na zbieżność tematyczną. Dopiero po nich powinien być zamieszczony kolejny podrozdział 2.2.2, który dotyczy odrębnego tematu tarcia i smarowania. Niezależnie od tej uwagi w rozdziale przedstawiono interesujące informacje zaczerpnięte z dużej liczby źródeł (205 pozycji). Tytuły podrozdziałów korespondują z zawartą w nich treścią. Rozdział stanowi dobre wprowadzenie do tematyki pracy.

W rozdziale trzecim podano cel, tezę rozprawy oraz zakres badań. Jako cel przyjęto analizę procesu kształtowania przyrostowego cienkich blach z tytanu CP-Ti Gr 2 oraz stopu tytanu Ti-6Al-4V. Jest on dosyć ogólnikowy, w moim odczuciu powinien być bardziej

uszczegółowiony. Teza pracy zakłada, że zastosowanie hybrydowego nagrzewania (ciśnieniem cieczy i tarciem) oraz dobór odpowiedniego materiału na narzędzia i strategii obróbki umożliwią uzyskanie wyłoczek ze stopu Ti-6Al-4V o przyjętym kształcie, poprzez zwiększenie stopnia odkształcenia materiału blachy. Pomimo, że jest rozbudowana, to w sposób zrozumiały komunikuje o kierunku podjętych prac badawczych i ma bezpośredni związek z tematem rozprawy. Zakres pracy przedstawiono w punktach oraz na schemacie blokowym w sposób zwięzły i dokładny.

W kolejnym, czwartym rozdziale przedstawiono badania materiałów blach oraz narzędzi stosowanych w badaniach. Opisano wyniki pomiarów topografii powierzchni scharakteryzowanej przez podstawowe parametry chropowatości. Podano wyniki próby jednoosiowego rozciągania, na podstawie której wyznaczono granicę plastyczności R_e , wytrzymałość na rozciąganie R_m i wydłużenie względne A w temperaturze pokojowej oraz przy podwyższonych temperaturach do 160°C i 340°C odpowiednio dla tytanu CP-Ti Gr 2 oraz stopu Ti-6Al-4V. Ponadto przytoczono wybrane właściwości węgliku spiekanego, z którego wykonano narzędzia do kształtowania oraz powłoki ceramiczne i powłoki PVD naniesionych na część roboczą narzędzia kształtującego. Rozdział jest krótki, ale zawiera niezbędne dane dotyczące materiałów odkształcanych i narzędziowych stosowanych w badaniach.

W rozdziale piątym przedstawiono metodykę badawczą poszczególnych etapów eksperymentu. Opisano stanowisko do wyznaczania współczynnika tarcia metodą przeciągania pasa blachy oraz przebieg testów i stosowane środki smarujące. Wyjaśniono istotę modelu regresji oraz budowę sztucznej sieci neuronowej zastosowanych do określenia zależności i istotności pomiędzy wybranymi parametrami testu (gęstość i lepkość kinematyczna środka smarującego, siła docisku) a wartością współczynnika tarcia. Następnie opisano stanowisko do badań procesu kształtowania przyrostowego oraz przebieg i parametry prób doświadczalnych dla tytanu CP-Ti Gr 2. Przedstawiono przyjęty zakres prędkości obrotowej i posuwu narzędzia oraz podziałki ścieżki, zastosowany plan eksperymentu, metodę pomiaru składowych sił kształtowania oraz chropowatości powierzchni wyłoczek, jak również sposób oceny jakości wyłoczki, kryteria optymalizacji parametrów kształtowania oraz analizę wariantów grzania i typu użytych narzędzi. W kolejnej części rozdziału podano warunki badań doświadczalnych dla stopu Ti-6Al-4V. Omówiono geometrię wyłoczki, wyniki wstępnego określenia zakresu parametrów, metodę doboru rodzaju narzędzia kształtującego, założenia przyjętego planu badawczego oraz kryteria optymalizacji parametrów procesu.

W rozdziale zamieszczono dużo informacji dotyczących zastosowanych stanowisk badawczych, planowania i sposobu realizacji eksperymentu, wejściowych i wyjściowych parametrów podlegających ocenie, a także interpretacji wyników. Podane opisy, chociaż niektóre bardzo krótkie, w sposób wystarczający komunikują o aspektach metodyki badawczej.

Rozdział szósty, o objętości 115 stron, jest zasadniczą częścią rozprawy, zawierającą wyniki badań, ich analizę i interpretację. Podzielony został na pięć podrozdziałów tematycznych.

W pierwszym podrozdziale podano zmierzone wartości współczynnika tarcia przy użyciu różnych środków smarujących dla obu badanych materiałów. Na podstawie wyników pomiarów opracowany został model do prognozowania wartości współczynnika tarcia w zakresie zmienności właściwości smarów i siły nacisku oraz dokonano analizy jakości tego modelu. Opisano również strukturę sieci neuronowej, jednak bez podania w tym miejscu informacji o przeznaczeniu tej sieci. Tę część badań zakończono wnioskami, głównie na temat skuteczności badanych środków smarujących.

W kolejnym podrozdziale przedstawiono wyniki badań kształtowania przyrostowego tytanu CP-Ti Gr 2. Przeanalizowano rezultaty pomiaru parametrów siłowych, najwyższej wysokości profilu chropowatości R_z i parametru sukcesu kształtowania h , a także opracowano równania regresji i wykazano ich dobrą zdolność prognozowania analizowanych wielkości. Na podstawie modeli regresji wyznaczono optymalne wartości parametrów wejściowych procesu i na podstawie walidacji wykazano ich prawidłowość. Przedstawiono wyniki badań wartości współczynnika tarcia w różnych fazach procesu oraz rezultaty analizy fraktograficznej pękniętych wytłoczek. Więcej uwagi poświęcono analizie topografii zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni wyrobów. Podano wartości zmierzonych parametrów chropowatości i podjęto próbę wyjaśnienia zjawisk zachodzących w obszarze kontaktu materiał okształcany – narzędzie oraz omówiono wpływ parametrów procesu na wartości wskaźników chropowatości. Dokonano również analizy wymiarowej kąta pochylenia i grubości ścianki oraz odchylenia wymiarów od modelu idealnego wytłoczek uzyskanych przy optymalnych parametrach obróbki, a także sprawdzono jakość wyrobów pod kątem pęknięć. Podano również wyniki badań kształtowania różnymi typami narzędzi z zastosowaniem nagrzewania tarcie i olejem grzewczym. Podrozdział zakończono wnioskami, sformułowanymi na podstawie rezultatów badań kształtowania przyrostowego blachy z tytanu CP-Ti Gr 2, dotyczącymi zależności pomiędzy wejściowymi parametrami procesu (prędkością obrotową i posuwem narzędzia kształtującego oraz podziałką ścieżki)

i wielkościami wynikowymi (parametrami siłowymi, jakością powierzchni wytłoczki, temperaturą blachy, sukcesem kształtowania tj. uzyskaniem założonego kształtu i wymiarów wytłoczki, współczynnikiem tarcia), a także dotyczącymi skuteczności badanych narzędzi i środków smarujących.

W następnym podrozdziale przedstawiono obszernie wyniki badań procesu kształtowania przyrostowego stopu tytanu Ti-6Al-4V. W pierwszym etapie dokonano weryfikacji stopnia zużycia różnego rodzaju narzędzi kształtujących, na podstawie której do dalszych badań wytypowano narzędzie wykonane z węgla wolframu bez powłoki na części roboczej. Następnie opisano wyniki badań dotyczące wpływu prędkości obrotowej, posuwu i podziałki ścieżki narzędzia, ciśnienia oleju pod kształtowaną blachą oraz strategii kształtowania (współbieżnego/przeciwbieżnego) na maksymalny kąt nachylenia ścianki wytłoczki, składowe siły kształtowania oraz współczynnik tarcia. W tym miejscu warto zauważyć, że podrozdział 6.3.2 pt. „Analiza procesu kształtowania” nie koresponduje ściśle z jego treścią, gdyż dotyczy głównie badań maksymalnego kąta nachylenia ścianki wytłoczki, co powinno być wyrażone w tytule podrozdziału. Dalej określono optymalne parametry procesu oraz opisano wyniki analizy fraktograficznej powierzchni pęknięcia wytłoczki oraz zużycia narzędzia. Podrozdział zakończono wnioskami, które bezpośrednio korespondują z wynikami badań przedstawionymi w tej części pracy.

Kolejne dwa podrozdziały, których struktura treści jest podobna, dotyczą modelowania numerycznego procesu kształtowania przyrostowego wytłoczek odpowiednio z tytanu CP-Ti Gr 2 i stopu Ti-6Al-4V. Budowę modeli badanych procesów oraz obliczenia wykonano w środowisku programu Abaqus/Explicit. Po analizie wpływu wielkości elementów siatki MES na dokładność obliczeń, przedstawiono porównanie wyników teoretycznych i doświadczalnych w zakresie składowych sił kształtowania, temperatury kształtowanego materiału oraz grubości ścianki wytłoczki i na tej podstawie potwierdzono dobrą jakość modelu teoretycznego. Podrozdział zakończono wnioskami wynikającymi z uzyskanych rezultatów.

W ogólnej ocenie rozdziału szóstego należy stwierdzić, że zawarto w nim bardzo dużo wartościowych i interesujących wyników badań. Podział na podrozdziały i zamieszczone w nich treści są prawidłowe (poza marginalnymi niedociągnięciami wskazanymi w opisie). Podrozdziały zakończone są wnioskami mającymi potwierdzenie w rezultatach badań. Pod względem merytorycznym rozdział oceniam jednoznacznie pozytywnie.

W ostatnim, siódmym rozdziale przedstawiono wnioski. Dotyczą one uzyskanych rezultatów badań obu badanych gatunków materiałów w zakresie: skuteczności środków

smarnych, skuteczności narzędzi w aspekcie materiału i kształtu części roboczej, zależności pomiędzy wejściowymi parametrami procesu i strategią kształtowania, a składowymi sił kształtowania, jakością powierzchni wytłoczek, współczynnika tarcia, a także optymalnych parametrów kształtowania, jakości opracowanych modeli MES oraz wpływu temperatury na przebieg procesu. W mojej ocenie sformułowane wnioski wynikają bezpośrednio z treści rozprawy. Autor dodał komentarz nawiązujący do osiągniętych wyników badań i potwierdził wykazanie słuszności postawionej tezy. Podał również ewentualne przyszłe kierunki badań, co należy ocenić pozytywnie.

Bibliografia jest bogata – zawiera 300 pozycji źródłowych. Jej struktura jest bardzo dobra, aż 66% pozycji źródłowych pochodzi z ostatnich 10 lat (licząc od roku 2015), ponad 95% to publikacje obcojęzyczne. Wykorzystane publikacje są ściśle związane z tematyką rozprawy.

2. Ocena rozprawy

Praca ma charakter głównie doświadczalny i dotyczy kształtowania przyrostowego blach z tytanu CP-Ti Gr 2 i stopu tytanu Ti-6Al-4V. Kandydat do stopnia doktora podjął się określenia zależności pomiędzy parametrami procesu, tj. prędkością obrotową i posuwem narzędzia kształtującego oraz podziałką ścieżki, strategią kształtowania (współbieżnego i przeciwbieżnego) a parametrami siłowymi, jakością powierzchni wytłoczki, temperaturą blachy, sukcesem kształtowania tj. uzyskaniem założonego kształtu i wymiarów wytłoczki oraz współczynnikiem tarcia, a także skutecznością badanych narzędzi i środków smarujących.

Praca napisana jest poprawną polszczyzną i wykonana starannie pod względem edycyjnym. Układ pracy jest prawidłowy, poszczególne rozdziały są związane z tematem rozprawy i stanowią logiczną całość oraz jasno informują o zakresie wykonanych prac badawczych. Przyjęta metodyka badań oraz sposób interpretacji wyników jest prawidłowy (drobne zastrzeżenia podano w uwadze nr 5 zamieszczonej poniżej). W pracy występują nieliczne, drobne usterki redakcyjne. Zaznaczono je w tekście i zostaną przekazane Autorowi.

Przy realizacji rozprawy Kandydat do stopnia doktora wykazał się: gruntowną wiedzą teoretyczną i praktyczną z zakresu obróbki plastycznej mieszczącej się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, należyтым doбором metodyki badań, umiejętnością planowania i prowadzenia eksperymentu oraz wykorzystania MES i sztucznych sieci neuronowych, a także zastosowania analizy wariancji i metod regresji do interpretacji wyników eksperymentu, biegłością prowadzenia pomiarów parametrów chropowatości według

procedur podanych w normach, umiejętnością realizacji badań fotogrametrycznych, wyznaczania współczynnika tarcia w teście przeciągania pasa blachy, zdolnościami konstruowania i budowy stanowiska badawczego.

Przy realizacji prac badawczych wykorzystał dobrej klasy sprzęt pomiarowy, m.in.: kamerę termowizyjną Flir T400, bezkontaktowy profilometr optyczny Bruker Contour GT 3D, oprogramowanie Siemens NX CAD/CAM, skaningowy mikroskop elektronowy Phenom ProX wyposażony w spektrometr EDS, system pomiarowy ARGUS, mikrotomograf rentgenowski GE V /TOME/X M300.

Sposób wykorzystania metod badawczych oraz jakość oceny i interpretacji uzyskanych wyników świadczy o Jego dobrym przygotowaniu do prowadzenia badań naukowych. Zgromadzony materiał badawczy i uzyskane rezultaty są obszerne i wartościowe. Mogą być wykorzystane w praktyce do projektowania procesów kształtowania przyrostowego wytłoczek z badanych materiałów. Do najważniejszych osiągnięć Kandydata do stopnia doktora należy zaliczyć:

- konstrukcję i budowę stanowiska badawczego do kształtowania przyrostowego blach,
- określenie skuteczności badanych środków smarnych dla pary trącej złożonej z badanych gatunków materiałów oraz użytych materiałów narzędziowych,
- określenie celowości stosowania powłok PVD oraz rowków o różnym kształcie na części roboczej narzędzia w procesie kształtowania przyrostowego badanych blach,
- określenie wpływu prędkości obrotowej, posuwu i kierunku obrotów narzędzia kształtującego oraz podziałki ścieżki na składowe siły kształtowania, jakość powierzchni wytłoczki, kształt i wymiary wytłoczki, współczynnik tarcia,
- określenie optymalnych parametrów procesu kształtowania przyrostowego blachy z tytanu CP-Ti Gr 2,
- określenie wpływu temperatury w strefie kontaktu narzędzia z kształtowanym materiałem na odkształcalność badanych blach,
- opracowanie modelu numerycznego kształtowania przyrostowego o dobrej zgodności wyników obliczeń z eksperymentem w zakresie sił kształtowania i grubości ścianki wytłoczki.

Podsumowując należy stwierdzić, że Autor rozprawy osiągnął postawiony cel i dowiódł słuszności tezy, aczkolwiek w tym zakresie wymagane jest wyjaśnienie uwagi nr 1 podanej poniżej. Wykazał się wiedzą z obszaru tematycznego rozprawy oraz umiejętnością prowadzenia eksperymentu. Potrafił sformułować i rozwiązać problem badawczy, co potwierdza Jego umiejętność realizacji pracy naukowej. Rezultaty opisane w rozprawie

stanowią opracowanie odrębnego zagadnienia naukowego mającego duży potencjał użytkowy, mieszczącego się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Lektura rozprawy nasuwa również poniższe uwagi.

1. Wyjaśnienia wymaga wykazanie słuszności tezy w zakresie uzyskania wyciągów o zmiennym nachyleniu ścianki bocznej oraz zwiększenia stopnia odkształcenia materiału blachy. Z przedstawionych rezultatów badań wynika, że nie udało się wykonać wyciągów ze stopu tytanu Ti-6Al-4V o dokładnym kształcie i wymiarach przedstawionych na rys. 5.12 (s. 74). Uzyskano maksymalny kąt nachylenia ścianki wynoszący 66° (s. 167), zamiast zakładanego kąta równego 80° . Ponadto w tezie założono i w ostatnim rozdziale potwierdzono uzyskanie zwiększenia stopnia odkształcenia materiału blachy, jednak w treści rozprawy brakuje informacji na ten temat, tzn. w stosunku do jakiego bazowego odkształcenia i w jakim stopniu uzyskano to zwiększenie.
2. Na podstawie wyników statycznej próby jednoosiowego rozciągania stopu tytanu Ti-6Al-4V podano, że największy wzrost plastyczności można zaobserwować w temperaturze 340°C (s. 54). Przedstawione w tab. 4.2 (s. 52) wyniki nie potwierdzają takiego stwierdzenia, gdyż przyjęty wskaźnik plastyczności (wydłużenie względne) jest większy przy temperaturze 104°C i 183°C od uzyskanego w 340°C . Jaka może być przyczyna spadku plastyczności przy wzroście temperatury?
3. Dlaczego stosowano tylko po dwie próby jednoosiowego rozciągania i nawet w przypadkach uzyskania dużej rozbieżności obu wyników (np. dla temperatury 261°C uzyskano $A=9\%$ oraz $A=12,4\%$ - różnica ok. 38%) nie wykonano dodatkowych pomiarów?
4. Pewne nieścisłości dotyczące badań środków smarnych wymagają wyjaśnienia. Dlaczego do badań właściwości smarnych wytypowano oleje (tab. 5.1, s. 57), których temperatura zapłonu jest zdecydowanie niższa od zaplanowanej maksymalnej temperatury kształtowania stopu Ti-6Al-4V? Dlaczego do badań kształtowania tytanu CP-Ti Gr 2 zastosowano olej syntetyczny SAE 75W-85 (s. 66), skoro badania wykazały, że ma on najmniejszą efektywność smarowania (wartość współczynnika tarcia jest największa) spośród badanych środków smarnych (s. 83)? Dlaczego nie poddano badaniom właściwości smarnych smaru MoS_2 , skoro był on stosowany w badaniach kształtowania blachy z tytanu CP-Ti Gr 2 oraz stopu tytanu Ti-6Al-4V?
5. Dlaczego nie skorzystano z typowej metodyki badań zmniejszającej koszty eksperymentu, tzn. nie wykorzystano symulacji MES do wielowariantowych analiz

parametrów kształtowania przyrostowego przed etapem badań doświadczalnych? Jaki był cel budowy modelu numerycznego procesu?

6. Wyniki badań wpływu wielkości elementów skończonych na dokładność obliczeń siły kształtowania wykazały, że najlepszą zgodność z rezultatami doświadczalnymi dla obu badanych gatunków blachy uzyskuje się dla elementów o krawędzi elementu równej 1 mm. Jaka może być przyczyna mniejszej dokładności obliczeń dla drobniejszych elementów o krawędzi równej 0,5 mm, biorąc pod uwagę ogólnie znaną zależność, że im większa jest gęstość siatki (mniejsze elementy) tym dokładność obliczeń jest lepsza?
 7. Wartości sił kształtowania obliczone na podstawie symulacji wykazują bardzo dużą zależność od wielkości elementów siatki; w niektórych etapach procesu siły obliczone przy użyciu elementów o krawędzi równej 4 mm są nawet ponad czterokrotnie większe od sił obliczonych przy użyciu elementów o krawędzi 0,5 mm (rys. 6.77, s. 190). Z czego może wynikać tak duża zależność wyników symulacji od gęstości siatki?
 8. W jakim celu wygenerowano siatkę elementów skończonych w narzędziu, jeśli nie analizowano żadnych wyników dotyczących narzędzia?
 9. Która metoda (MES czy sztuczne sieci neuronowe) umożliwia uzyskanie dokładniejszych wyników obliczeń tzn. wyników o lepszej zgodności z rezultatami doświadczalnymi?
- W rozprawie brakuje takiego zestawienia, a byłaby to interesująca informacja.

Podane uwagi, niektóre o charakterze dyskusyjnym lub wynikające z ciekawości nie zmniejszają wartości merytorycznej rozprawy.

3. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Marcina Szpunara zawiera oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego dotyczącego kształtowania przyrostowego blach z tytanu CP-Ti Gr2 i stopu tytanu Ti-6Al-4V. Autor wykazał należyłą wiedzę w tematyce rozprawy oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Jego osiągnięcia wymienione w rozdziale 2. recenzji stanowią zauważalny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna. Biorąc pod uwagę bardzo duży zakres wykonanych prac, głównie doświadczalnych, jakość wykonanych badań oraz znaczenie naukowe i użytkowe uzyskanych wyników, rozprawę uważam za wartościową i oceniam jednoznacznie pozytywnie.

Na podstawie przedstawionej recenzji stwierdzam, że opiniowana praca mgra inż. Marcina Szpunara spełnia ustawowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim. Wniosuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

