

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra inż. Bartłomieja Walnika
pt. Wpływ parametrów technologicznych na trwałość połączeń płaskowników
warstwowych wytwarzanych metodą walcowania na gorąco**

1. Omówienie recenzowanej pracy

Opracowana przez mgra inż. Bartłomieja Walnika rozprawa doktorska dotyczy walcowania ma gorąco płaskowników warstwowych ze stali S355J2 i stali o znaku towarowym NANOS-BA[®]. Rezultaty prac badawczych osiągnięte zostały głównie na podstawie badań doświadczalnych, uzupełnionych symulacjami numerycznymi metodą elementów skończonych.

Stal NANOS-BA[®] jest ultrawyttrzymałą i stosunkowo plastyczną stalą o nanostrukturze bainityczno-austenitycznej, opracowaną i opatentowaną względnie niedawno przez Instytut Metalurgii Żelaza (IMŻ). Jej doskonałe własności, w tym bardzo wysoka odporność na zużycie ścierne i wysoka odporność balistyczna sprawiają, że jest to stal z dużymi perspektywami zastosowań w przemyśle obronnym, jak również w innych obszarach, w których panują trudne warunki pracy elementów konstrukcji. Opracowanie technologii łączenia tej stali ze stalą konstrukcyjną S355J2 w celu uzyskania wyrobu warstwowego o unikatowych cechach jest ideą wartościową zarówno w aspekcie technicznym jak również ekonomicznym. Wybór metody walcowania na gorąco jest właściwy, gdyż szeroki zakres jej stosowania do wytwarzania metalowych wyrobów warstwowych podnosi szanse osiągnięcia zamierzonego celu, w tym przypadku wytworzenia warstwowego płaskownika o trwałym połączeniu warstw. 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 205 stron i podzielona jest na 6 rozdziałów, uzupełnionych spisem treści, spisem ważniejszych oznaczeń i akronimów, streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz bibliografią.

Wprowadzenie (rozdział pierwszy) stanowi zasygnalizowanie tematyki badawczej. Autor powołując się na pozytywne wstępne wyniki badań wskazał proces walcowania jako obiecującą metodę wytwarzania stalowych płaskowników platerowanych. Krótko scharakteryzował istotne parametry tej metody i zjawiska zachodzące na granicy łączonych

stali. Poinformował, że tematyka pracy dotyczy wysokowytrzymałych płaskowników warstwowych złożonych ze stali S355J2 i stosunkowo nowej, opatentowanej przez IMŻ stali o nazwie NANOS-BA[®] w procesie zintegrowanego walcowania na gorąco z wyżarzaniem międzyoperacyjnym i dodatkową obróbką cieplną.

Rozdział drugi zawierający studium literatury podzielony jest na sześć podrozdziałów. W pierwszym z nich zamieszczono ujęcie historyczne rozwoju metod łączenia metali, w szczególności platerowania oraz scharakteryzowano wyroby wykonywane rozwijającymi się technikami. Dużo miejsca poświęcono wątkowi produkcji blach platerowanych oraz prac wykonywanych w ośrodkach badawczych w Polsce w tym zakresie. W szczególności opisane zostały wyniki badań uzyskane w IMŻ dotyczące stali NANOS-BA[®], łączenia materiałów metodą wybuchową oraz wytwarzania płaskowników warstwowych metodą walcowania na gorąco.

W drugim podrozdziale podano przegląd metod wytwarzania płaskich wyrobów warstwowych. Na początku tej części przedstawiono analizę pojęć związanych z blachami i płaskownikami platerowanymi i warstwowymi. Następnie dokonano podziału metod platerowania i przedstawiono opis poszczególnych sposobów, ze szczególnym uwzględnieniem metody walcowania i zgrzewania wybuchowego.

W trzeciej części rozdziału szczegółowo opisano technologię walcowania na gorąco płaskich wyrobów warstwowych. Przeanalizowano gatunki materiałów stosowanych jako materiał podstawowy i nakładany. Następnie omówiono etapy walcowania na gorąco: przygotowanie i nagrzewanie wsadu oraz walcowanie, któremu poświęcono nieco więcej uwagi, przedstawiając osiągnięcia nauki w zakresie stosowanych gatunków stali, występowania asymetrii, wpływu prędkości walcowania na jakość wyrobu. Podano także temperaturę walcowania dla różnych gatunków stali i jej wpływ na własności wyrobów, co w mojej opinii powinno znaleźć się w wyodrębnionej wcześniej przez Autora części dotyczącej nagrzewania wsadu warstwowego, a nie operacji walcowania.

Czwarty podrozdział dotyczy zjawisk zachodzących na granicy łączonych metali. Przedstawiono w nim szereg opisujących mechanizmy zachodzące w trakcie łączenia teorii: wiązań metali, energii, dyfuzji, dyslokacji, filmu tlenkowego, rekrytalizacji, N. Baya, trzyetapową. Szerzej podano informacje nt. dyfuzji, która odgrywa istotną rolę w stalach nanostrukturalnych, do których należy badana w pracy stal NANOS-BA[®]. Na podstawie wykonanych analiz stwierdzono, że nie istnieje uniwersalna teoria opisująca mechanizmy zachodzące w trakcie łączenia warstw, dlatego należy stosować indywidualne podejście do każdego badanego przypadku.

W podrozdziale piątym przedstawiono charakterystykę stali NANOS-BA[®] i zestawiono jej korzystne własności plastyczne, wytrzymałościowe, ścierne i balistyczne z innymi stalami. Opisano również wady tej stali, do których zaliczono słabą spawalność, wysoki koszt wytworzenia oraz złożoną obróbkę cieplną. Na podstawie analizy porównawczej cech stali NANOS-BA[®] z innymi stalami wysokojakościowymi Autor uznał za uzasadnione podjęcie prac badawczych zmierzających do wytworzenia płaskownika dwuwarstwowego złożonego ze stali S355J2/NANOS-BA[®], który Jego zdaniem może mieć zastosowanie w przemyśle zbrojeniowym.

W ostatnim podrozdziale Kandydat do stopnia doktora zamieścił podsumowanie przeglądu literatury. Stwierdził, że pomimo dużego zainteresowania światowych ośrodków badawczych technologią wytwarzania wyrobów warstwowych metodą walcowania na gorąco, występuje duży niedostatek literaturowy w zakresie wyników badań doświadczalnych oraz opisu zjawisk i mechanizmów występujących na granicy łączenia materiałów tą metodą. Podkreślił, że nie spotkał informacji nt. badań lub produkcji wyrobów platerowanych ze stali nanobainitycznej NANOS-BA[®] i konstrukcyjnej S355J2 oraz nie ma stosownych norm w tym zakresie. W Polsce prowadzono badania nad metodą wybuchową wykonania takich wyrobów, jednak nie uzyskano satysfakcjonujących wyników i prace nie są kontynuowane. Dodatkowo stwierdził, że w kraju nie stosuje się metody walcowania na gorąco do wytwarzania wyrobów warstwowych. Powyższe uwagi podsumowujące stan zagadnienia pozwoliły sformułować główne założenia rozprawy.

W ocenie ogólnej rozdziału należy podkreślić, że poruszono w nim wiele wątków dotyczących wyrobów warstwowych i metod ich wytwarzania. Rozdział podzielony jest na krótkie podrozdziały, w których podano ciekawe informacje dotyczące zakresu rozprawy. Tytuły podrozdziałów korespondują z zawartą w nich treścią. Rozdział stanowi dobre wprowadzenie do tematyki pracy.

W rozdziale trzecim podano cel i tezę rozprawy. Jako główny cel przyjęto opracowanie podstaw technologii wytwarzania wysokowytrzymałych płaskowników dwuwarstwowych S355J2/ NANOS-BA[®] w procesie walcowania na gorąco połączonego z obróbką cieplną. W tezie założono, że jest to możliwe poprzez dobór odpowiedniej temperatury walcowania i wartości gniotów, co w połączeniu z obróbką cieplną pozwoli osiągnąć granicę plastyczności $R_{p0,2} > 460$ MPa, wydłużenie całkowite $A > 10\%$ i wytrzymałość złącza na ścinanie większe od 300 MPa.

Odnosnie tezy nasuwa się pytanie, na jakiej podstawie przyjęto wartość wytrzymałości na ścinanie? O ile podane wartości granicy plastyczności i wydłużenia odpowiadają podanym

wcześniej w rozdziale zakresom dla stali o wysokiej wytrzymałości, to wytrzymałość na ścinanie została przyjęta bez uzasadnienia. Pomijając powyższą uwagę stwierdzam, że zarówno cel jak i teza są sformułowane w sposób zrozumiały, jasno komunikują o kierunku podjętych prac badawczych. Mają bezpośredni związek z tematem rozprawy.

W obszernym rozdziale czwartym, liczącym 137 stron, opisano badania własne. Został on podzielony na pięć podrozdziałów zawierających opis: programu badań, materiałów badawczych, symulacji numerycznych, badań eksperymentalnych oraz badań jakościowych (mechanicznych i strukturalnych).

W podrozdziale pierwszym przedstawiono, w mojej ocenie w sposób mało przejrzysty, kolejne etapy realizowanych badań oraz warianty i parametry obróbki cieplnej. Opis tekstowy jest dosyć chaotyczny i niepełny (bardziej przejrzysty program badań zaprezentowano w tab. 5). Przykładowo na str. 41 widnieje informacja o trzech wariantach walcowania bez podania, na czym polegają różnice między nimi. Nie znając dalszej części pracy można tylko domniemywać, że te trzy warianty oznaczają to samo, co wspomniane na kolejnej str. 42 trzy schematy gniotów. W treści nie podano informacji o wartościach tych gniotów, chociaż jest to jeden z dwóch głównych parametrów zawartych w tezie pracy. Można jedynie domyślać się, że są to wartości zamieszczone w opisie symbolu WG na rys. 10. Autor stosuje niewyjaśnione symbole np. W21, W42, W63, D1, D4, D7 ... Co prawda opisy zarówno tych oznaczeń jak też wariantów procesu i wartości stosowanych gniotów znajdują się w dalszych częściach pracy, ale jest to zaburzenie chronologii informacji. Błędny jest również tytuł tab. 5 i 6 – „Program badań eksperymentalnych”, ponieważ obie tablice odnoszą się nie tylko do badań eksperymentalnych, ale do całego zakresu prac badawczych, w tym również symulacji numerycznych czy też badań jakościowych uzyskanych próbek.

W drugim bardzo krótkim podrozdziale podano głównie informacje o składzie chemicznym i równoważniku węgla dwóch gatunków stali zastosowanych w badaniach tj. S355J2 oraz NANOS-BA[®]. Tutaj również Autor nie uniknął pewnych niedociągnięć. W pierwszym zdaniu podrozdziału podał, że wymienione dwa gatunki stali stosowano w symulacji, podczas gdy użyte zostały również w badaniach doświadczalnych. Nie zamieścił też informacji czy skład chemiczny obu stali pochodzi z atestu, czy został określony samodzielnie.

W kolejnym, trzecim podrozdziale przedstawiono badania numeryczne. Scharakteryzowano zastosowaną metodykę podając parametry walcowania i wymiary wsadu. Nie opisano istotnych warunków symulacji, co szczegółowo podano dalej w uwagach krytycznych. W dalszej części podrozdziału przedstawiono wyniki symulacji walcowania z dwoma różnymi gniotami (40% oraz 3×30%) i przy trzech temperaturach początkowych wsadu (900°C,

1000°C, 1100°C). Zaprezentowano wymiary oraz wskaźniki odkształcenia płaskownika oraz obu jego warstw po każdym przepuszczeniu, wartość momentu walcowania dla każdego walca, przebiegi sił walcowania w funkcji czasu oraz rozkład temperatury w przekroju wzdłużnym i poprzecznym walcowanego pasma. Podrozdział zakończono krótkim podsumowaniem wyników symulacji numerycznych. Dokonano analizy rozkładu naprężeń i wartości sił w poszczególnych wariantach procesu. Przeanalizowano również wartości temperatur po walcowaniu w aspekcie możliwości przeprowadzenia eksperymentu na dostępnych urządzeniach. Pozytywnie należy ocenić opracowanie wytycznych do badań stanowiskowych walcowania na gorąco płaskownika warstwowego. W podrozdziale znalazło się kilka nieścisłości, jak np. nie podano temperatury dla symulacji nr 4÷6 (tab. 14), rozbieżności w liczbie wykonanych symulacji – na str. 49 podano, że było ich 6, natomiast na str. 51 opisano symulacje nr 7÷12, czy też rozbieżności w nazewnictwie – w tekście przy opisie tab. 15 i 16 (str. 51) mowa jest o „wartościach średnich sił” a w tab. 15 i 16 widnieje niejasne pojęcie „całkowita siła nacisku”. Pomijając drobne uwagi podrozdział należy ocenić pozytywnie, w szczególności osiągnięcie ważnego celu, jakim jest opracowanie na podstawie wyników symulacji wytycznych do badań doświadczalnych walcowania na gorąco płaskownika warstwowego.

W podrozdziale czwartym przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych. Po krótkiej charakterystyce stanowiska badawczego przedstawiono metodykę badań, w tym sposób przygotowania wsadów oraz ich nagrzewania, stosowane gnioty w poszczególnych wariantach walcowania oraz zastosowane warianty chłodzenia i obróbki cieplnej. W tab. 19 w sposób przejrzysty zaprezentowano charakterystykę wszystkich 15. prób doświadczalnych. Następnie opisano uzyskane wyniki dotyczące temperatury i wymiarów walcowanego wsadu warstwowego, wskaźników odkształcenia oraz mierzonych parametrów walcowania, m.in. sił i momentów walcowania oraz parametrów prędkościowych. Uzyskane rezultaty eksperymentu zostały porównane z wynikami symulacji na podstawie wartości błędu procentowego. Zestawienie danych w zakresie wskaźników odkształcenia, maksymalnej siły nacisku metalu na walce oraz temperatury wykazały dobrą zgodność pomiędzy obliczeniami i eksperymentem.

W ostatnim podrozdziale omawianego rozdziału przedstawiono wyniki badań jakościowych uzyskanych płaskowników warstwowch. Opisano metodykę wyznaczenia wytrzymałości na rozciąganie, zginanie, ścinanie (2 metody), pomiarów twardości oraz badań mikroskopowych. Wyznaczanie wskaźników wytrzymałościowych i pomiary twardości realizowane były na podstawie odpowiednich norm krajowych lub zagranicznych (w przypadku braku norm

krajowych), co zapewniło odpowiedni poziom jakości uzyskanych wyników. Następnie przedstawiono bardzo obszerne (93 strony) rezultaty badań jakościowych. Zebrane w tej części rozprawy wyniki stanowią bardzo bogaty materiał badawczy w zakresie wytrzymałości na rozciąganie, granicy plastyczności i wydłużenia, analizy przełomów po próbie rozciągania, wytrzymałości na zginanie, analizy przełomów po próbie zginania, wytrzymałości na ścinanie w próbie rozciągania oraz przy obciążeniu stycznym, twardości, a także w zakresie oceny jakościowej i analizy fazowej mikrostruktury, analizy rozkładu pierwiastków oraz wielkości ziarna. Bardzo obszerne wyniki dotyczą badań strukturalnych, co niewątpliwie lokuje rozprawę w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

W kolejnym, piątym rozdziale (błędnie oznaczonym numerem 6) Autor rozprawy przeprowadził dyskusję wyników. Po krótkim podsumowaniu prac badawczych dokonał analizy rezultatów symulacji numerycznych, głównie w zakresie doboru temperatury i jakości obliczeń parametrów siłowych oraz przeanalizował wyniki badań doświadczalnych, w szczególności wpływ gniotu i obróbki cieplnej na mikrostrukturę i jakość połączenia oraz własności mechaniczne. Szczegółowo przedstawił interpretację wyników w zakresie utleniania powierzchni złącza, dyfuzji pierwiastków stopowych (w szczególności węgla), mechanizmów zmian mikrostruktury w obszarze połączenia. Na podstawie omówionych zagadnień stwierdził m.in., że własności mechaniczne złącza po walcowaniu w jednym przepuście i w trzech przepustach są porównywalne oraz że możliwe jest sterowanie szerokością pasma odwęglonego (wpływającego na wytrzymałość złącza) poprzez odpowiedni dobór parametrów technologicznych walcowania i obróbki cieplnej. Autor wskazał na możliwość dalszej optymalizacji jakości złącza. Bardzo pozytywnym podsumowaniem tego rozdziału jest podanie wytycznych technologicznych wytwarzania płaskowników dwuwarstwowych typu S355J2/NANOS-BA[®], w zakresie przygotowania i nagrzewania wsadu, walcowania i obróbki cieplnej.

W ostatnim rozdziale po stwierdzeniu o wykazaniu słuszności tezy, zamieszczono 7 wniosków dotyczących mikrostruktury i procesów w niej zachodzących oraz jakości mechanicznej warstwy połączenia obu stali w płaskowniku dwuwarstwowym w powiązaniu z parametrami technologicznymi, a także możliwości i korzyści związanych z opracowaną technologią. Wszystkie wnioski korespondują z treścią rozprawy, oceniam je jako właściwe.

Bibliografia podzielona jest na cztery grupy, zawiera 106 pozycji opublikowanych w czasopiśmie, materiałach konferencyjnych i opracowaniach książkowych, 14 norm, 2 patenty oraz 15 materiałów informacyjnych. W pierwszej grupie źródeł znajduje się ok. 57% pozycji obcojęzycznych, ok. 48% opracowań pochodzi z ostatnich 10 lat. Wykorzystane

publikacje są związane z tematyką rozprawy, w mojej ocenie są w dużej części nowe i w zupełności wystarczające.

2. Ocena osiągnięć

Praca ma charakter teoretyczno-doświadczalny i dotyczy procesu wytwarzania płaskowników dwuwarstwowych ze stali S355J2/NANOS-BA[®]. Kandydat do stopnia doktora podjął się oceny wpływu parametrów walcowania na gorąco i obróbki cieplnej na własności mechaniczne oraz mikrostrukturę i mechanizmy strukturalne zachodzące w warstwie łączącej obie stale. Na podstawie badań określił warunki, w jakich można uzyskać płaskownik dwuwarstwowy z badanych stali o jakości odpowiadającej stali o wysokiej wytrzymałości.

Praca napisana jest poprawną polszczyzną i wykonana starannie pod względem edycyjnym. Występujące błędy gramatyczne i uchybienia edycyjne są nieliczne. Zaznaczono je w tekście i zostaną przekazane Autorowi.

Przy realizacji rozprawy Kandydat do stopnia doktora wykazał się: gruntowną wiedzą teoretyczną i praktyczną z zakresu rozprawy, należytym doborem metodyki badań, umiejętnością planowania i prowadzenia eksperymentu oraz korzystania z oprogramowania do symulacji numerycznych procesów kształtowania metali, dobrym przygotowaniem do realizacji badań metalograficznych, biegłością prowadzenia pomiarów według procedur podanych w normach.

W badaniach wykorzystał dobrej klasy sprzęt pomiarowy i oprogramowanie, m.in.: mikroskop świetlny DSX500, skaningowy mikroskop elektronowy Inspect F, detektory EDS i WDS, pirometr optyczny, specjalistyczne oprogramowanie do analizy cyfrowej obrazu, oprogramowanie QForm. Sposób wykorzystania metod badawczych oraz jakość oceny i interpretacji uzyskanych wyników świadczy o Jego dobrym przygotowaniu do prowadzenia badań naukowych. Należy podkreślić, że zgromadzony materiał badawczy jest bardzo obszerny, co wymagało dużego nakładu pracy.

Do osiągnięć Kandydata do stopnia doktora należy zaliczyć:

- opracowanie na podstawie wyników symulacji numerycznych wytycznych do badań stanowiskowych walcowania na gorąco płaskownika warstwowego,
- uzyskanie obszernych wyników badań jakościowych odwalcowanych płaskowników warstwowych w zakresie: wytrzymałości na rozciąganie, granicy plastyczności i wydłużenia, analizy przełomów po próbie rozciągania, wytrzymałości na zginanie, analizy przełomów po próbie zginania, wytrzymałości na ścinanie w próbie rozciągania i przy obciążeniu stycznym oraz twardości,

- ocenę jakościową i analizę fazową mikrostruktury, analizę rozkładu pierwiastków oraz wielkości ziarna,
- wnioski w zakresie utleniania powierzchni złącza, dyfuzji pierwiastków stopowych, mechanizmów zmian mikrostruktury w obszarze połączenia,
- określenie wpływu gniotu i obróbki cieplnej na jakość połączenia warstw,
- opracowanie wytycznych do realizacji procesu wytwarzania płaskownika warstwowego S355J2/NANOS-BA[®] metodą walcowania na gorąco połączonego z obróbką cieplną.

Podsumowując należy stwierdzić, że Autor rozprawy osiągnął postawiony cel i dowiódł słuszności tezy. Wykazał się wiedzą z obszaru makro- i mikrostruktury stali, zawierającej się w dyscyplinie inżynieria materiałowa oraz z zakresu przeróbki plastycznej i badań jakościowych. Potrafił sformułować i kompleksowo rozwiązać problem naukowy, co potwierdza Jego umiejętność prowadzenia pracy badawczej. Rezultaty opisane w rozprawie stanowią opracowanie odrębnego zagadnienia naukowego mieszczącego się w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Lektura rozprawy nasuwa również uwagi, niektóre o charakterze dyskusyjnym lub wynikające z ciekawości.

1. W rozdziale dotyczącym symulacji numerycznych nie sprecyzowano warunków przyjętych do obliczeń, m.in.: jaki zastosowano stan odkształcenia (2D/3D), jakich elementów skończonych użyto, jaki zastosowano model materiału i jakie jest jego źródło (biblioteka programu czy badania własne), jaki przyjęto model tarcia, jakie zastosowano wartości współczynników wymiany ciepła, jak zdefiniowano warunki kontaktu pomiędzy warstwami płaskownika i inne. Czynniki te mają decydujący wpływ na dokładność wyników symulacji i powinny znaleźć się w treści rozprawy.
2. Jakie kryterium w symulacjach numerycznych stosowano do oceny, czy w procesie walcowania dochodzi do trwałego połączenia obu materiałów, czy też nie (str. 57, 58, 179)?
3. Na str. 57, 58 przy analizie wyników symulacji omówiono rozkład naprężeń, ale nie pokazano żadnego wyniku obliczeń w tym zakresie, ani nie podano żadnej wartości naprężeń. Operowano jedynie wartościami sił. Wymaga to szerszego wyjaśnienia.
4. Na jakiej podstawie przyjęto, że gniot krytyczny w jednym przepuszczeniu wynosi 35%, a w wielu przepustach 45÷60% (str. 179, 180), skoro nie wykonano badań dla takich wartości gniotów?
5. Jaką metodą spawano po obwodzie dwa płaskowniki (str. 61, rys. 17)? Jest to interesujące, gdyż spawanie stali NANOS-BA[®] jest bardzo problematyczne?

6. Na rys. 30-36 (str. 86÷89) przedstawiono wykresy uzyskane w statycznej próbie rozciągania. Wynika z nich, że prawie we wszystkich przypadkach występuje umowna granica plastyczności, jednak próbka nr W48 (płaskownik NANOS-BA[®]/NANOS-BA[®]) wykazuje wyraźną granicę plastyczności? Jak wytłumaczyć ten wynik?

7. W tab. 51 zaprezentowano zestawienie wyników próby wytrzymałości na ścinanie przez rozciąganie. Próbka o numerze W2 zerwała się w obszarze warstwy stali NANOS-BA[®] o dużo większej wytrzymałości od drugiej warstwy ze stali S355J2. Jak wyjaśnić takie wyniki próby?

8. Na jakiej podstawie przyjęto wartość gniotu dla wariantu walcowania nr 2 (30% + 30%) i nr 3 (30% + 30% + 30%)? Dlaczego np. nie zastosowano pierwszego gniotu o wartości 40% (tak jak w wariacie nr 1), jeśli wiadomo, że gniot w pierwszym przejściu powinien być jak największy? W mojej ocenie uzyskano by bardziej obiektywne dane porównawcze z pierwszym wariantem i bardziej miarodajne podstawy do określenia wpływu kolejnych gniotów na jakość połączenia.

3. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Bartłomieja Walnika zawiera oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego dotyczącego wytwarzania płaskownika dwuwarstwowego. Autor wykazał należyłą wiedzę w tematyce rozprawy oraz umiejętność prowadzenia badań naukowych. Jego osiągnięcia wymienione w rozdziale 2. recenzji stanowią zauważalny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa. Biorąc pod uwagę bardzo duży zakres wykonanych prac, głównie doświadczalnych, jakość wykonanych badań oraz wartość naukową i użyteczną uzyskanych wyników, pomimo podanych uwag rozprawę oceniam bardzo pozytywnie.

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

