

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana

mgr inż. Radosława Wartacza pt.:

Analiza teoretyczno-doświadczalna ciągnięcia wielostopniowego drutów ocynkowanych ze stali C42D

Niniejszą recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów (pismo z dnia 22.05.2019r).

Ocena istotności problemu naukowego rozprawy

Zasadniczym problemem podjętym w rozprawie doktorskiej Pana mgr inż. Radosława Wartacza jest kompleksowa analiza procesu wielostopniowego ciągnięcia drutów ocynkowanych ze stali C42D zawierająca ocenę parametrów energetyczno-siłowych, ocenę właściwości mechanicznych, ocenę jakości powierzchni i grubości powłoki cynkowej a także badania naprężeń własnych i zmian mikrostruktury warstwy wierzchniej drutów ciągniętych w warunkach przemysłowych.

Przemysł ciągarski należy obecnie do jednej z dynamicznie rozwijających się gałęzi przemysłu przetwórstwa metali. Ze względów ekonomicznych uzasadnione wydaje się stałe rozwijanie najwyższej jakości usług zapewniających rozwój rynku drutów ciągniętych w oparciu o innowacje w technologii a przede wszystkim inwestycje w specjalistyczne maszyny ciągarskie o znacznie wyższej wydajności. Bardzo dużą część produkcji wyrobów ciągniętych stanowią druty stalowe. Proces ich wytwarzania jest opanowany i mają one szerokie zastosowanie w przemyśle gwoździarskim, produkcji śrub, drutów spawalniczych, sprężyn, lin, czy też drutów do produkcji opon. W tych obszarach znaczącą i istotną rolę stanowi konfekcja drutów z powłokami. Od takich wyrobów wymaga się spełnienia parametrów jakościowych powłoki tj. odpowiednia jej grubość, zdefiniowane właściwości mechaniczne oraz chropowatość powierzchni, które to uzyskuje się w wyniku znanych, procesów technologicznych przetwórstwa, które na przestrzeni lat uległy znaczącej poprawie pod kątem wydajności oraz poprawy parametrów produkcyjnych. Wśród drutów z powłokami największy udział stanowią obecnie druty stalowe ocynkowane. W zależności od

przeznaczenia stosowane na liny, siatki, sprężyny czy równego rodzaju zawiesia. Od takich wyrobów wymaga się nie tylko spełnienia właściwości mechanicznych lecz również wytrzymałości zmęczeniowej i odporności korozyjnej. Te ostatnie zapewnić będzie między innymi odpowiedni stan warstwy wierzchniej a ten z kolei zależy od zastosowanej technologii ciągnięcia. O ile wiele prac zostało poświęconych zagadnieniom ciągnięcia drutów ocynkowanych o tyle dotyczyły one technologii tego procesu realizowanej na ciągarce jednostopniowych w zakresie stosowania małych prędkości ciągnięcia. Zagadnienia procesów ciągnięcia drutów stalowych ocynkowanych na wielociągach z prędkościami powyżej 10 m/s nie były dotychczas przedmiotem prac badawczych.

W tym zatem kontekście wybór tematyki pracy doktorskiej Pana mgr inż. Radosława Wartacza jest w pełni uzasadniony. Ma to odzwierciedlenie zarówno w przyjętej strategii optymalizowania parametrów technologii ciągnięcia celem uzyskania korzystnych właściwości końcowych wyrobu jak i w analizie zjawisk zachodzących w warstwie ocynkowanej w samym procesie ciągnięcia, które to skutkują jakością powłoki. Przedłożona do recenzji praca doktorska wpisuje się zatem ze swoją tematyką w interesujące i bardzo aktualne obszary badań aplikacyjnych nauk technicznych w obszarze inżynierii materiałowej. Należy dodać, iż praca ta, wpisuje się także w nurt tematyki badawczej realizowanej i rozwijanej od wielu lat w Instytucie Przeróbki Plastycznej i Inżynierii Bezpieczeństwa Wydziału Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej.

Przedłożone do oceny szerokie opracowanie zostało przygotowane w formie oprawionego wydruku komputerowego formatu A4 o objętości 195 stron. Struktura rozprawy nie odbiega od przyjętych standardów dla tego rodzaju opracowań. Doktorant podzielił pracę na dwie zasadnicze części. Pierwsza z nich, zatytułowana „Przegląd literatury w świetle podjętego tematu”, zajmuje 52 strony. Druga część, którą należy zaliczyć do części eksperymentalnej, przedstawiona została na 143 stronach, co stanowi ponad $\frac{3}{4}$ objętości pracy. Te część pracy otwiera rozdział „Teza cel i zakres pracy”, a następnie rozdziały „Materiał użyty do badań oraz zastosowane technologie ciągnięcia”, oraz 7 rozdziałów opisujących metodologię i wyniki badań własnych w których zawarta została zarówno metodyka badań jak i analiza osiągniętych wyników badań. Pracę krystalizuje rozdział „Podsumowanie wyników badań” gdzie zamieszczono opis najważniejszych osiągnięć pracy i rozdział „Wnioski końcowe”. Całość opracowania dopełnia starannie dobrana i aktualna „Literatura”. W spisie literatury, Doktorant podaje 2014 pozycje krajowe i zagraniczne, do których odwołuje się w swojej rozprawie. W tej grupie znalazło się 5 prac współautorstwa doktoranta, które publikował w czasie swej pracy naukowej co zasługuje na podkreślenie.

Praca zawiera bogaty zbiór rysunków i tabel. Wzbogacone o rysunki i tabele wyniki badań ułatwiają analizę zawartych w rozprawie doktorskiej treści, a jednocześnie podnoszą wartość pracy. Na str. 3 Doktorant zamieścił wykaz ważniejszych oznaczeń co również podnosi jakość opracowania i ułatwia interpretację i analizę równań i rysunków.

Merytoryczna ocena pracy

Szczegółowe studium literaturowe Doktorant zaprezentował w czterech zasadniczych podrozdziałach. Autor przedstawił opis technologii ciągnięcia wielostopniowego drutów stalowych ze szczegółami konstrukcyjnym narzędzi ciągarskich i szczegółami w zakresie wpływu prędkości i warunków ciągnięcia na właściwości mechaniczne i jakość powierzchni drutów. Dalej Omówił szczegółowo zagadnienie ochrony przed korozją co ma związek z wytwarzaniem warstw wierzchnich. Kolejne rozdziały zostały poświęcone omówieniu zagadnienia cynkowania drutów stalowych i technologii ciągnięcia drutów zawierających warstwy wierzchnie w tym powłoki cynkowe. Autor dokonał przeglądu wybranych metod otrzymywania powłok z opisem szczegółów technologicznych ich wytwarzania i oceną właściwości a także przedstawieniem budowy i składu fazowego wytwarzanych powłok.

Ta część rozprawy jest bardzo dobrze przygotowana. Studium literaturowe zostało przeprowadzone w sposób szeroki, logiczny, a omówiona problematyka w części literaturowej bardzo dobrze koresponduje z tematem pracy oraz problematyką zaprezentowaną w części praktycznej.

W części eksperymentalnej pracy, na podstawie analizy przeglądu literatury Doktorant stawia tezę i główny cel pracy. Teza pracy brzmi: odpowiedni dobór parametrów ciągnięcia wielostopniowego z dużymi prędkościami, zapewnia uzyskanie drutów ocynkowanych ze stali średniowęglowej, odznaczających się wysokimi własnościami przy zachowaniu odpowiednio grubej jednorodnej powłoki cynku gwarantującej wymaganą odporność na korozję. Jednocześnie Autor definiuje główny cel pracy jako analizę zjawisk zachodzących w procesach wielostopniowego ciągnięcia z dużymi prędkościami ocynkowanych drutów ze stali średniowęglowej w ciągadłach konwencjonalnych i hydrodynamicznych o różnych wartościach kąta części roboczej ciągadła oraz analiza wpływu tych zjawisk na kształtowanie własności drutów i powłoki cynkowej po procesie ciągnięcia. W tym miejscu należy stwierdzić, że teza jest sformułowana jasno i dość klarownie choć zabrakło w niej precyzyjnego wskazania, które to parametry ciągnięcia były brane pod uwagę pod kątem analizy ich wpływu na uzyskanie odpowiedniej jakości drutów ocynkowanych. Ponadto w celu głównym nie wspomniano jakie to zjawiska będą analizowane. W opinii recenzentki

można było dokonać sformułowania bardziej precyzyjnego, czy chodzi o zjawiska strukturalne zachodzące w samej powłoce, czy zjawiska na granicy powłoka narzędzie robocze czy chodzi o inne wynikowe procesu ciągnięcia. Niemniej jednak słuszność postawionej tezy autor wykazał w kolejnych rozdziałach badawczych swojej pracy, do potwierdzenia której zrealizował bardzo szeroki, adekwatny i właściwie dobrany program badań a całość opracowania posiada bez wątpienia znamiona oryginalności i rzetelnej sztuki prowadzenia pracy naukowej na poziomie rozprawy doktorskiej.

Rozdziały od 5 do 11 są najważniejszymi rozdziałami w pracy doktorskiej Pana mgr inż. Rafała Wartacza. Przeprowadzone przez niego badania mają charakter eksperymentalny i są dobrze opisane. Dla dowiedzenia tezy pracy i realizacji postawionego celu, Doktorant wykonał bardzo szeroki, autorski i zawierający triangulację wielu metod badawczych program badań doświadczalnych, który obejmował:

- 1) Przemysłowe próby ciągnięcia drutów ocynkowanych z badanej stali w zaplanowanym zakresie zmiennej prędkości procesu i z zastosowaniem dwóch rodzajów ciągaideł.
- 2) Obliczenia teoretyczne i analizę parametrów energetyczno – siłowych procesu ciągnięcia w różnych wariantach.
- 3) Przeprowadzenie i analiza badań jakości powłoki cynkowej pod kątem ilości smaru ciągarskiego na powierzchni, grubości powłoki, chropowatości powierzchni.
- 4) Przeprowadzenie i analiza badań właściwości mechanicznych i technologicznych uzyskanych w procesie ciągnięcia drutów.
- 5) Wyznaczenie naprężeń własnych drutów.
- 6) Badania strukturalne powłoki cynkowej ciągnionych drutów.
- 7) Badania i analiza wyników odporności korozyjnej ocynkowanych drutów stalowych.

Doktorant w swej pracy zastosował wiele metod obliczeniowych, technik badawczych i eksperymentalnych. Analiza obliczeniowa parametrów energetyczno - siłowych została przeprowadzona w sposób wielowariantowy w oparciu o obliczenia teoretycznej mocy ciągnięcia według zależności Marcola. Całości analizy dopełniają starannie opracowane wykresy i zależności. Analizę warunków smarowania przeprowadzono w sposób eksperymentalny a badania chropowatości powierzchni z użyciem profilometru. Ten zakres opracowania zawiera wiele cennych wyników badań zrealizowanych dla dwóch rodzajów narzędzi. Doktorant przeprowadził dalej badania zmian masy powłoki cynkowej po różnych wariantach ciągnięcia zgodnie z wytycznymi polskiej normy. Dokonał jej analizy strukturalnej z użyciem skaningowej mikroskopii elektronowej stosując przy tym technikę EDS w tym przeprowadził liniową analizę składu chemicznego powłoki na przekroju

poprzecznym. Uzupełnieniem badań są wyniki oceny odporności korozyjnej drutów stalowych z powłoką cynkową w środowisku dwutlenku siarki z kondensacją wilgoci i w atmosferze rozpylonej solanki. Ponadto Autor przeprowadził badania właściwości mechanicznych i technologicznych ciągnionych drutów a także dokonał analizy naprężeń własnych metodą mechaniczną tj. metoda wzdłużnego rozcinania drutu.

Oceniając tą część pracy, muszę stwierdzić, iż Doktorant zebrał bardzo szeroki, ciekawy i warty uwagi materiał z badań. Część eksperymentalna recenzowanej rozprawy została przygotowana bardzo starannie. Doktorant dołożył wszelkich starań aby zadbać o racjonalny i przemyślany tok realizacji pracy w tym także odpowiednie przygotowanie i prowadzenie eksperymentów a także sprawną triangulację badań. Opisy eksperymentów są kompletne. Wszechstronnie i z bardzo dużą starannością przeprowadzono badania przemysłowe procesu ciągnięcia. Załączone rysunki, tabele oraz schematy zawarte w poszczególnych rozdziałach są przejrzyste i dobrze uzupełniają tekst.

Wymaga tu podkreślenia faktu, że badania przedstawione w tej części pracy mają bardzo dużą wartość poznawczą a nawet wdrożeniową co potwierdza, że główne założenia pracy były słuszne.

Muszę zaznaczyć, iż tekst rozprawy został przygotowany z poszanowaniem wszelkich reguł języka polskiego. Strona redaktorska pracy nie budzi większych zastrzeżeń, gdyż błędy redakcyjne są bardzo nieliczne.

Czuję się zobligowana do poruszenia pewnych kwestii dyskusyjnych, do których Pan mgr inż. Radosław Wartacz będzie miał możliwość ustosunkować się podczas publicznej obrony:

- 1) W podsumowaniu Autor stwierdza, że wzrost chropowatości powierzchni drutów ciągnionych z dużymi prędkościami jest między innymi spowodowany intensywnym nagrzewaniem warstwy wierzchniej drutu. Czy były prowadzone w tym zakresie badania lub symulacje numeryczne? O jakiej skali wzrostu temperatury mówimy?
- 2) Na stronie 168 opracowania Autor definiuje wprost, że powłoka cynkowa jest zbudowana z warstwy zewnętrznej oraz warstwy dyfuzyjnej składającej się z faz międzymetalicznych δ , ξ , Γ . W tym zakresie dane na temat możliwych faz międzymetalicznych pochodzą jedynie z natężeń widm promieniowania rentgenowskiego i proporcji udziału pierwiastków jakie uzyskano podczas badań SEM/EDS. Nie jest to dobrze udowodnione. Proszę Autora o komentarz w tym zakresie.

Powyższe pytania w tym dyskusyjne nie umniejszają mojej pozytywnej opinii o recenzowanej pracy doktorskiej mgr inż. Radosława Wartacza.

Stwierdzam, iż przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi cenne opracowanie badawczo-naukowe i bazę informacji dla dalszych, badań aplikacyjnych nad procesami ciągnięcia drutów stalowych z powłokami. Przedstawione i opisane w pracy doktorskiej wyniki badań wytyczają możliwe dalsze kierunki prac naukowych w tym obszarze.

Do najważniejszych osiągnięć pracy doktorskiej należą:

- 1) Zaplanowanie i przeprowadzenie wielowariantowego procesu ciągnięcia drutów stalowych ocynkowanych w warunkach przemysłowych z zastosowaniem metody konwencjonalnej i hydrodynamicznej.**
- 2) Dokonanie szczegółowej analizy wpływu technologii ciągnięcia w tym zmiennych parametrów procesu na grubość i morfologię powłoki cynkowej.**
- 3) Analiza wpływu technologii ciągnięcia na przebieg procesów korozji i ocena kinetyki tego procesu w zależności od zastosowanych wariantów ciągnięcia.**
- 4) Dokonanie oceny i analiza wyników obliczeń poziomego naprężeń własnych w drutach stalowych ocynkowanych po procesie ciągnięcia.**
- 5) Porównanie własności mechanicznych i technologicznych drutów po procesie ciągnięcia wielostopniowego z zastosowaniem technologii konwencjonalnej i hydrodynamicznej.**

W tym kontekście całość opracowania stanowi ciekawy materiał badawczy, który może posłużyć do projektowania nowych technologii wielostopniowego ciągnięcia ocynkowanych drutów stalowych.

Wniosek końcowy

Moja ogólna ocena pracy jest pozytywna. Doktorant rozwiązał problemy o ważnym znaczeniu poznawczym i technologicznym z zakresu przeróbki plastycznej stali węglowych z powłoką cynkową. Wykazał się niezbędną wiedzą i doświadczeniem w prowadzeniu badań z zakresu przedmiotu pracy. O dobrym poziomie naukowym opiniowanej pracy świadczy również skoncentrowanie na precyzyjnym ujęciu problemu i wytyczeniu jasnej ścieżki badawczo – eksperymentalnej wzbogaconej o szereg metod badawczych z zakresu oceny struktury i odporności korozyjnej.

Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska

mgr inż. Radosława Wartacza pt.:

„Analiza teoretyczno-doświadczalna ciągnięcia wielostopniowego drutów ocynkowanych ze stali C42D”

spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595). W związku z tym wnoszę o przyjęcie rozprawy mgr inż. Radosława Wartacza i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony przed radą Wydziału Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów.

Jednocześnie wnioskuję do Wysokiej Rady Wydziału Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej o przyznanie wyróżnienia przedłożonej mi do oceny rozprawie doktorskiej pana mgr inż. Radosława Wartacza, pt. „Analiza teoretyczno-doświadczalna ciągnięcia wielostopniowego drutów ocynkowanych ze stali C42D”. Tematyka badawcza w/w doktoratu stanowi unikalny zestaw badań do projektowania i doboru odpowiedniej technologii procesu ciągnięcia drutów stalowych z powłoką cynkową, dający szerokie możliwości aplikacyjne w przemyśle. Doktorant w ramach pracy uzyskał szereg wyników badań które dotychczas nie były przedmiotem prac w tym obszarze. Ponadto na wyróżnienie zasługuje bardzo dobrze zaplanowany i zorganizowany cykl badań i ich triangulacja, która dostarcza szerokiego spektrum danych. Potwierdzeniem dobrego warsztatu badawczego zaprezentowanego w pracy doktorskiej może być lista pięciu publikacji wydanych w okresie prowadzenia prac badawczych z tematyki objętej pracą doktorską w których Doktorant jest współautorem. Jako recenzent, który wnikliwie zapoznał się z treścią w/w pracy doktorskiej, z pełną odpowiedzialnością mogę stwierdzić, że zarówno tematyka, jak i całokształt prac badawczych, wykonanych i przejrzysto przedstawionych przez Doktoranta w tej starannie sporządzonej od strony edytorskiej i językowej rozprawie, zasługuje na wyróżnienie.

