



WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW
INSTYTUT PRZERÓBKI PLASTYCZNEJ
I INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA



Prof. dr hab. inż. Sebastian Mróz

Częstochowa, 27.03.2017

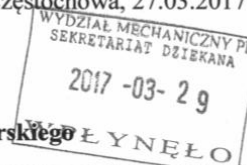
RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Winiarskiego

pt.: „*Kształtowanie kołnierzy w wyrobach drążonych metodą wyciskania z ruchomą tuleją*”

– wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej

z dnia 27 stycznia 2017 r.



Niekonwencjonalne metody kształtowania plastycznego coraz częściej są konkurencyjną alternatywą w stosunku do tradycyjnych technologii wytwarzania wyrobów charakteryzujących się skomplikowanym kształtem. Od wielu lat w Katedrze Komputerowego Modelowania i Technologii Obróbki Plastycznej Politechniki Lubelskiej prowadzone są badania mające na celu opracowanie nowych i modyfikacji istniejących metod i technologii wytwarzania wyrobów pełnych i drążonych wykorzystujących innowacyjne metody przeróbki plastycznej. Metody te mogą zastąpić inne techniki wytwarzania tego typu wyrobów, np. obróbka skrawaniem, odlewanie czy spawanie. Praca mgr inż. Grzegorza Winiarskiego dotycząca określenia teoretyczno-technologicznych aspektów kształtowania kołnierzy w wyrobach drążonych z zastosowaniem nowej metody wyciskania z ruchomą tuleją wpisuje się w nurt działalności naukowej macierzystego ośrodka oraz w ogólnie światowe trendy poszukiwania nowych metod i rozwiązań kształtowania plastycznego, ze szczególnym uwzględnieniem wyrobów drążonych. Dlatego też uważam, że podjęty przez Autora pracy temat należy uznać za uzasadniony i bardzo aktualny.

Recenzowana praca składa się z 10 rozdziałów, streszczenia w językach polskim i angielskim oraz spisu literatury zamieszczonych na 152 stronach maszynopisu. Przyjęta struktura pracy jest właściwa, a badania własne i ich analiza stanowią ponad 70% całej objętości pracy. Cytowana literatura (107 pozycji) jest poprawnie i adekwatnie dobranej do tematyki rozprawy. Większość pozycji została opublikowana w okresie ostatnich 10 lat. Na uwagę zasługuje fakt, że Doktorant w 13 pozycjach występuje jako współautor. Godne jest również odnotowania, że opracowana nowa metoda wyciskania z ruchomą tuleją kształtowania kołnierzy w wyrobach drążonych jest chroniona patentami.



Przed postawieniem tezy pracy, w przeglądzie literatury, Autor bardzo szczegółowo omówił obszary techniki, w których stosowane są wyroby drążone z kołnierzami, po czym przechodzi do omówienia głównych metod wytwarzania tego typu wyrobów, co ważne krytycznie podchodząc do każdej z omawianych metod. Główną uwagę skupia, co jest oczywiste z punktu tematyki pracy, na kształtowaniu kołnierzy z wykorzystaniem różnych metod przeróbki plastycznej, wykazując ich przewagę w stosunku do np. odlewania lub metody ubytkowej. W ostatniej części przeglądu literatury Autor krótko charakteryzuje stopy aluminium, jeden z nich – gatunek EN AW-6060 będzie wykorzystany, jako materiał badawczy zastosowany w pracy zarówno w badaniach modelowych jak również i doświadczalnych. Własności stopu 6060 oraz rur zastosowanych do badań Autor zamieścił w tabeli 2.3. Pojawia się pytanie, w jakim stanie były rury skoro przed kształtowaniem plastycznym zostały poddane wyżarzaniu rekrystalizującemu. Autor mógł zamieścić rzeczywiste wyniki właściwości rur wykonanych ze stopu 6060, można było wykorzystać wyniki prób spęczania, na podstawie, których określono funkcję naprężenia plastycznego płynięcia lub przeprowadzić proste testy rozciągania.

Przegląd literatury zakończony jest podsumowaniem, w którym Autor stwierdza, że przedstawione metody pozwalają uzyskać tylko określony kołnierz. Brak jest metody uniwersalnej umożliwiającej wykonanie różnych typów kołnierzy, np. w kształcie rozety, walcowego i kwadratowego. Ponadto przedstawione technologie posiadają swoje ograniczenia, jednym z nich jest brak możliwości kształtowania kołnierzy charakteryzujących się znaczną objętością. Stąd też Autor rozprawy podjął się bardzo ambitnego zadania opracowania nowej metody wytwarzania kołnierzy w wyrobach drążonych, której możliwości technologiczne zapewnią uzyskanie kołnierza o jak największej objętości. Uznał, że wyciskanie z ruchomą tuleją ograniczy zjawisko wyboczenia ścianki wsadu i utraty spójności materiału, co umożliwi kształtowanie kołnierzy o znacznej objętości.

Tezę pracy stanowi stwierdzenie, że:

„Kształtowanie kołnierzy w wyrobach drążonych nową metodą wyciskania z ruchomą tuleją zapewni uzyskanie prawidłowych odkuwek z kołnierzami, o stosunkowo dużych objętościach oraz przy małej energochłonności w porównaniu do innych metod.”

Autor postawił dwa cele pracy: naukowy i użyteczny. Celem naukowym jest identyfikacja zjawisk ograniczających proces kształtowania kołnierzy w wyrobach drążonych metodą wyci-



skania z ruchomą tuleją, określenie wpływu i zakresu wybranych parametrów technologicznych na prawidłowy przebieg procesu. Natomiast celem użytecznym pracy jest opracowanie podstaw technologicznych nowego procesu kształtowania kołnierzy w wyrobach drążonych metodą wyciskania z ruchomą tuleją, które dadzą podstawy do zastosowań w praktyce przemysłowej. Dla osiągnięcia celu pracy i udowodnienia tezy pracy Doktorant zrealizował bardzo szeroki zakres badań tak teoretycznych (za pomocą programu komputerowego opartego na MES), jak i doświadczalnych. Plan badań zilustrowano graficznie na schemacie blokowym.

W kolejnych rozdziałach (4 i 5) Doktorant szczegółowo przedstawia opracowaną nową metodę kształtowania kołnierzy w wyrobach drążonych, określa, jakiego typu (6 typów) mogą być wykonane z zastosowaniem opracowanej metody wyroby. Następnie w podrozdziałach 4.1-4.6 omawia schemat przebiegu procesu dla każdego z przedstawionych typów kołnierzy. Spośród 6 typów kołnierzy możliwych do wykonania z wykorzystaniem opracowanej metody do zasadniczych badań wybrano dwa, argumentując dokonany wybór największym potencjałem użytecznym. Słusznie założono, że wyroby drążone z kołnierzami zewnętrznymi są bardzo często stosowane w budowie maszyn. Po dokonaniu wyboru typu kołnierza w rozdziale dokonano opisu opracowanej metody, wyprowadzając przy tym bardzo ważne z praktycznego punktu widzenia inżynierskie zależności określające całkowitą wysokość odkuwki H dla wyrobu z kołnierzem o zakładanej wysokości h_k .

W kolejnym rozdziale Autor opisał wyniki badań, które zostały wykorzystane do symulacji numerycznych procesu kształtowania kołnierzy. W ramach badań określono m.in. współczynniki sprężystości sprężyn, krzywą plastycznego płynięcia dla zastosowanego stopu Al oraz wartości czynnika i współczynnika tarcia w zależności od zastosowanego środka smarującego. Po dokonaniu analizy treści rozdziału uważam, że opis metody najmniejszych kwadratów i związane z nią równania (6.1)-(6.4) są ogólnie znane i nie wnoszą nic interesującego do treści pracy. Wystarczyło tylko podać wyniki aproksymacji (tabela 6.3). Nasuwa się również pytanie, w jakim celu wykonano badania prób ściskania stopu Al dla różnych prędkości odkształcenia, chociaż wiadomo, że prędkość odkształcenia nie ma istotnego wpływu na naprężenia plastycznego płynięcia w procesach przeróbki plastycznej na zimno, co zresztą pokazano na rys. 6.6 i 6.7. Bardzo interesujące są wyniki dotyczące określenia czynnika i współczynnika tarcia.



Określenie tych wartości dla różnych warunków smarowania będzie w przyszłości można wykorzystać dla innych procesów przeróbki plastycznej na zimno stopu 6060.

W aspekcie teoretycznym bardzo wartościowy jest rozdział 7 pracy, w którym zamieszczono wyniki modelowania numerycznego i częściowo wyników badań doświadczalnych promieniowego wyciskania kołnierzy oraz z ruchomą tuleją. W rozdziale tym Autor pracy dokonał analizy kształtów tulei otrzymanych w badaniach teoretycznych i doświadczalnych, analizy rozkładów naprężeń obwodowych, intensywności odkształcenia, wyznaczono graniczną całkę znormalizowanego kryterium pęknięcia Cockrofta-Lathama oraz dokonano analizy zmian siłowych procesu. Teoretyczne określenie metody promieniowego wyciskania kołnierza wyjaśniono na rys. 7.21 oraz 7.22. Dla metody wyciskania z ruchomą tuleją zaprojektowano bardzo szeroki zakres badań - 24 warianty procesu (tabela 7.2). Na wstępie wytypowano czynniki ograniczające proces, a następnie każde ograniczenie analizowano teoretycznie oraz doświadczalnie. Na podstawie analizy otrzymanych wyników badań numerycznych i doświadczalnych określono zakres stosowalności opracowanej metody. Z utylitarne punktu bardzo istotne są opracowane zakresy stosowalności opracowanej metody. Autor stwierdza, że proces wyciskania z ruchomą tuleją umożliwia wykonanie w jednym zabiegu odkuwek z kołnierzami o średnicy większej od zewnętrznej średnicy wsadu o dwie grubości ścianki, przy zastosowaniu tulei ruchomej o promieniu zaokrąglenia równym grubości ścianki wsadu, której wartość początkowego wysunięcia wynosi $h_0=g/3$. Przy czym uzyskane w ten sposób kołnierze charakteryzowały się stosunkowo dużą wysokością, która w zależności od potrzeb może mieć wartość równą od kilku do kilkunastu grubości ścianek wsadu. Oznacza to, że w procesie uzyskuje się kołnierze o stosunkowo dużej objętości.

Teoretyczna i doświadczalna analiza opracowanej metody umożliwiła Autorowi na jej zastosowanie do wykonania przykładowych wyrobów drążonych z kołnierzem. Jako przykład wybrano bardziej skomplikowaną odkuwkę z kołnierzem dwustopniowym oraz sześciokątnym. Oba wyroby po numerycznej analizie procesu wykonano w warunkach laboratoryjnych uzyskując zadowalającą jakość.

Należy podkreślić, że metodyka badań doświadczalnych przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych nie budzi zastrzeżeń, a ich interpretacja jest wartościowa dla projektowania technologii kształtowania kołnierzy metodą wyciskania z ruchomą tuleją.



W ostatnim rozdziale Autor porównał opracowaną metodę kształtowania kołnierzy w procesie wyciskania z ruchomą tuleją z trzema konwencjonalnymi metodami kształtowania kołnierzy za pomocą procesów przeróbki plastycznej. Wykazał przewagę opracowanej metody w porównaniu do kształtowania w procesie wyciskania współbieżnego i promieniowego, wyciskania promieniowego oraz kucia na kuźniarkach polegającą na możliwości wykonania kołnierzy o większej objętości i o zróżnicowanym kształcie przekroju poprzecznego oraz w określonych przypadkach mniejszą energochłonnością procesu.

Praca zakończona jest podsumowaniem i wnioskami. W rozdziale tym stwierdzono, że zastosowanie nowej metody w znacznym stopniu ogranicza możliwość wystąpienia wybočenja ścianki wsadu oraz możliwość wystąpienia pęknięć w odkuwce, co m.in. umożliwia wykonanie kołnierzy o znacznej wysokości a tym samym i objętości.

Uwagi do pracy:

Praca została przygotowana bardzo starannie, poprawnie pod względem redakcyjnym i językowym, jednakże Autor nie ustrzegł się pewnych nieścisłości, a niektóre zagadnienia nie zostały wyjaśnione w sposób wyczerpujący, (uwagi przytoczono w kolejności ich występowania w pracy):

- 1) str. 18 w. 2g i rys. 2.6: jest „*postacie odkształcenia materiału*”, powinno być „*schematy odkształcenia*”;
- 2) str. 20 w. 6d: jest „*W procesie wyoblania wykorzystuje się skłonność blach do odkształceń plastycznych...*”, blachy nie mają skłonności, tą cechę posiada materiał, który poddawany jest odkształceniu;
- 3) str. 71, w. 9d, jest: „*Założono, że próba ściskania przeprowadzona zostanie na zimno (...), z trzema różnymi prędkościami odkształcania (...) mm/min.*”, próby ściskania przeprowadzono z trzema różnymi prędkościami liniowymi (mm/min.), a dopiero prędkości liniowe przeliczono na prędkość odkształcenia (1/s);
- 4) str. 72, w. 4d, jest „*Zastosowanie stałej prędkości odkształcania powoduje, że prędkość odkształcenia jest zmienna...*”, powinno być zastosowanie stałej prędkości liniowej;
- 5) str. 76, w. 1g: jest „*W celu znalezienia czynnika...*”, powinno być „*W celu określenia (wyznaczenia)...*”;



WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW
INSTYTUT PRZERÓBKI PLASTYCZNEJ
I INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA



6) nie powinno nazywać się tak samo poszczególnych rozdziałów: 6 rozdziałów „*Metodyka badawcza*” – 6.1.1; 6.2.1; 6.3.1; 7.1.1; 7.2.1.1 i 7.2.2.1 oraz 6 rozdziałów „*Wyniki badań i ich analiza*” oraz „*Analiza wyników*” – 6.1.2; 6.2.2; 6.3.2; 7.1.2; 7.2.1.2 i 7.2.2.2;

8) Autor tłumaczy rozbieżności w otrzymanych przebiegach sił w trakcie procesu wyciskania m.in. zmiennymi warunkami tarcia – wzrost wartości tarcia oraz niejednorodnością materiału (materiał wsadowy był wyżarzony, także jego ew. niejednorodność nie powinna mieć wpływu na otrzymane wyniki obliczeń), (rys. 7.20 s. 97, rys. 7.45 s. 126, rys. 8.4 s. 133). Zdaniem recenzenta problem ten można było rozwiązać dzieląc symulacje numeryczne na 2 niezależne etapy: pierwszy do ok. 20 mm przemieszczenia stempla z zastosowaniem wartości czynnika i współczynnika tarcia określonego w badaniach, a drugi etap po przeniesieniu historii odkształcenia, temperatury i pozostałych parametrów wykonać obliczenia dla wyższych wartości tarcia, dobierając je tak, aby uzyskać zgodność z wartością siły wyciskania. Dobór rzeczywistej wartości tarcia dla końcowego etapu wyciskania wpłynąłby na większą zgodność wyników badań teoretycznych i doświadczalnych.

Wnioski końcowe:

Biorąc pod uwagę aktualność doboru tematu, który ma istotne znaczenie zarówno poznawcze jak i praktyczne, właściwą i wartościową tezę rozprawy, która została w pełni udowodniona, a także umiejętności Doktoranta, który:

- wykazał bardzo dobre opanowanie warsztatu w projektowaniu maszyn i urządzeń oraz w przeróbce plastycznej metali,
- potrafił zastosować nowoczesne metody badawcze do rozwiązania postawionych problemów naukowych,
- uzyskał cenne dane teoretyczne i doświadczalne dla projektowania nowej technologii wytwarzania wyrobów drążonych z kołnierzem,
- sformułował poprawne i wartościowe wnioski wynikające zarówno z własnych rozwiązań teoretycznych jak i wyników badań doświadczalnych, stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska pt.: „*Kształtowanie kołnierzy w wyrobach drążonych metodą wyciskania z ruchomą tuleją*” spełnia wymagania stawiane w Ustawie o Stopniach i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule Naukowym w Zakresie Sztuki i wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Grzegorza Winiarskiego do publicznej obrony.