

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra inż. Marka Zwolaka**

**pt. Analiza wpływu parametrów geometrycznych oraz materiałowych matryc
stosowanych w procesie wyciskania KOBO na efekty plastycznego odkształcenia stopów
Al i Mg**

1. Omówienie recenzowanej pracy

Opracowana przez mgra inż. Marka Zwolaka rozprawa doktorska dotyczy badania wybranych aspektów procesu wyciskania metodą KOBO. Metoda ta opracowana przez profesorów: Andrzeja Korbla i Włodzimierza Bochniaka, wykorzystywana również w innych procesach kształtowania plastycznego metali (np. w kuciu, walcowaniu, ciągnięciu) posiada szereg zalet w stosunku do technologii konwencjonalnych. Idea metody polega na oddziaływaniu na metal narzędzia wykonującego ruch oscylacyjny. Cykliczna zmiana drogi odkształcenia materiału powoduje aktywowanie niskoenergetycznego mechanizmu odkształcenia związanego z intensywnym tworzeniem i migracją defektów punktowych, co sprawia, że metal zachowuje się jak ciecz newtonowska. Zastosowanie metody KOBO pozwala zmniejszyć pracę odkształcenia, dzięki czemu jest to metoda energooszczędna. W warunkach odkształcania na zimno zapewnia dobrą plastyczność materiałów nawet trudnoodkształcalnych. Rozdrobnienie struktury zapewnia bardzo dobre własności mechaniczne. Niewątpliwie zalety tej metody czynią ją bardzo rozwojową, o czym świadczą chociażby liczne publikacje, nie tylko twórców metody i innych krajowych badaczy, ale również wielu naukowców zagranicznych. Podjęta w rozprawie tematyka badawcza jest bez wątpienia aktualna i bardzo ważna zarówno w aspekcie naukowym, jak też utylitarnym.

Praca napisana jest w języku polskim, liczy 113 stron i podzielona jest na 6 rozdziałów, uzupełnionych wstępem, spisem treści, streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz bibliografią.

Wstęp stanowi zasygnalizowanie tematyki badawczej. Autor krótko scharakteryzował zalety procesu wyciskania metodą KOBO. Wskazał na atrakcyjność procesu z uwagi na jednorodne własności mechaniczne i strukturalne wyrobów oraz mniejszą energochłonność w porównaniu do innych procesów. Stwierdził, że zagadnienia konstrukcji narzędzi do realizacji tej metody są do tej pory niewystarczająco poznane.

W rozdziale pierwszym dokonano charakterystyki konwencjonalnych i niekonwencjonalnych metod wyciskania. W odniesieniu do pierwszej grupy metod, w której uwzględniono tylko wyciskanie współbieżne i przeciwbieżne, krótko omówiono parametry siłowe procesu, schemat płynięcia różnych grup materiałów oraz poruszono wybrane aspekty dotyczące struktury, m.in. wpływ rekrytalizacji dynamicznej i parametrów procesu na obwódkę grubokryształiczną prasówki. Do niekonwencjonalnych metod wyciskania zaliczono metody SPD umożliwiające uzyskanie dużych odkształceń i struktury drobnoziarnistej. Krótko scharakteryzowano metodę wyciskania hydrostatycznego, skręcania pod wysokim ciśnieniem (HPT), przeciskania/wyciskania przez kanał kątowy (ECAP/ECAE), cyklicznego wyciskania spęczającego (CEC), wielokrotnego wyciskania współbieżnego (MDE) i wyciskania pakietowego (AE). Z oczywistych względów więcej uwagi Autor poświęcił wyciskaniu metodą KOBO, w której wykorzystywany jest oscylacyjny ruch obrotowy matrycy do osiągnięcia wielu pozytywnych skutków procesu. Do zalet metody w stosunku do wyciskania konwencjonalnego zaliczono możliwość realizacji procesu na zimno ze współczynnikiem wyciskania niemożliwym do osiągnięcia innymi metodami, mniejszą energochłonność procesu i siłę wyciskania, korzystne własności mechaniczne. Wspomniano o możliwości niskotemperaturowej konsolidacji wiórów, porównano schemat płynięcia materiału z metodami konwencjonalnymi.

W ocenie ogólnej rozdziału należy podkreślić, że poruszono w nim wiele wątków dotyczących procesu wyciskania. Rozdział podzielony jest na dużo krótkich podrozdziałów, w których podano tylko niezbędne informacje dotyczące poruszanej tematyki, bez niepotrzebnych, długich opisów. Tytuły podrozdziałów korespondują z zawartą w nich treścią, z wyjątkiem podrozdziału 1.3.3, który traktuje o lepko-plastycznym charakterze płynięcia materiału w procesie wyciskania metodą KOBO, a nie o aspektach strukturalnych jak sugeruje nazwa podrozdziału. Rozdział pierwszy stanowi dobre wprowadzenie do tematyki rozprawy.

W rozdziale drugim Kandydat do stopnia doktora zamieścił najważniejsze Jego zdaniem informacje dotyczące projektowania matryc do wyciskania. Skupił się na matrycach płaskich do produkcji profili otwartych. Przedstawił analizę wpływu konstrukcji matrycy na sposób płynięcia wyciskanego metalu oraz dokonał krótkiej charakterystyki materiałów stosowanych na matryce do wyciskania. Cały rozdział obejmuje niecałe 6 stron (w tym 8 rysunków), co jak na kluczową część analizy zagadnienia, bezpośrednio związaną z tematem rozprawy, wydaje się być podejściem stosunkowo powierzchownym.

Rozdział trzeci, zawarty na jednej stronie, zawiera krytyczną ocenę stanu zagadnienia. Autor sformułował 4 wnioski dotyczące przeglądu literatury specjalistycznej, traktujące o zaletach procesu wyciskania metodą KOBO oraz niedostatkach literaturowych w zakresie wpływu budowy narzędzi na przebieg procesu oraz braku modelu MES dla metody KOBO.

W rozdziale czwartym sformułowano 4 cele pracy oraz tezę. Trzy cele dotyczą określenia wpływu cech geometrycznych części czołowej matrycy na przebieg procesu, właściwości strukturalne i wytrzymałościowe prasówki oraz płynięcie metalicznych materiałów o różnej strukturze wewnętrznej. Czwarty cel dotyczy opracowania wytycznych do projektowania matryc do wyciskania metodą KOBO. Treść tezy pracy informuje, że zastosowanie matrycy o odpowiedniej konstrukcji w procesie wyciskania na zimno metodą KOBO pozwoli na uzyskanie wyrobów o założonej jakości przy jednoczesnej energooszczędności procesu.

Zarówno cele jak i teza są sformułowane w sposób zrozumiały. Jednak nawiązują jedynie do parametrów geometrycznych matryc, natomiast nie zawierają żadnego wątku dotyczącego parametrów materiałowych narzędzi ujętych w tytule rozprawy.

Rozdział piąty stanowi zasadniczą część rozprawy. Podano w nim opis całego zakresu prac badawczych i uzyskane rezultaty.

W pierwszej części tego rozdziału, przedstawiono zakres prac badawczych, które podzielono na wstępne i systematyczne. Z opisu i schematu ilustrującego przebieg badań na rys. 32 wynika, że w badaniach doświadczalnych za zmienne wejściowe przyjęto: typ materiału, konstrukcję matrycy i parametry technologiczne. Dane wynikowe obejmują siłę wyciskania i częstotliwość oscylacji narzędzia oraz twardość, mikrostrukturę i własności prasówki wyznaczone w próbie jednoosiowego rozciągania. Zaletą tej części rozdziału jest zwięźle i komunikatywnie podany program badawczy.

W kolejnej części rozdziału opisano badania wstępne. Scharakteryzowano materiał wsadowy złożony z krążków stopu aluminium 7075 i folii z miedzi M1E, stanowisko badawcze – prasę do wyciskania oraz trzy typy matryc stosowanych w badaniach wstępnych. Podano parametry technologiczne prób doświadczalnych, sposób przygotowania próbek z prasówki do badań wytrzymałościowych i metalograficznych, a także sposób wykonania tych badań. W ramach wyników przedstawiono siły wyciskania, obserwacje makrostruktury w przekroju wzdłużnym i poprzecznym oraz mikrostruktury w obszarze piętki. Ta część rozdziału zakończona jest krótką analizą wyników, w której zinterpretowano różnice zarejestrowanych sił wyciskania oraz charakteru płynięcia materiału.

Treści podrozdziału dotyczącego badań własnych można było uzupełnić o opis metodyki pomiaru długości i grubości warstw miedzi, kryteriów doboru parametrów procesu wyciskania, czy też sposobu doboru liczby i wymiarów rowków w matrycy. Niezależnie od tego wyniki przedstawione w podrozdziale są interesujące. Doktorant ponownie wykazał się umiejętnością bardzo krótkiej prezentacji badań i uzyskanych wyników.

W ostatniej części rozdziału przedstawiono drugi etap badań nazwany badaniami systematycznymi. Podano opis materiału wyciskanego - stopu aluminium 7075 oraz scharakteryzowano 7 nowych matryc różniących się liczbą i wymiarami rowków. Przedstawiono parametry technologiczne prób wyciskania, sposób przygotowania próbek do badań oraz procedury badań jakościowych: mikroskopowych, wytrzymałościowych i twardości. Zaprezentowano uzyskane wyniki testów, które obejmowały siły wyciskania, granicę plastyczności i wytrzymałość na rozciąganie, makro- i mikrostrukturę prasówki w różnych obszarach, pomiary twardości, strukturę piętek. W dalszej części podrozdziału dokonano analizy uzyskanych rezultatów w zakresie wpływu konstrukcji matrycy na siłę wyciskania, własności wytrzymałościowe, strukturę, twardość, strefy odkształcenia materiału. Szkoda, że dokonano tylko porównania siły maksymalnej wyciskania konwencjonalnego i metodą KOBO. Można było dodatkowo obliczyć pracę wykonaną przez stempel, co pozwoliłoby szacunkowo (z pominięciem pracy wykonanej przez oscylację matrycy) porównać energetycznie badane procesy i w ten sposób nawiązać do tezy rozprawy. Rozdział zakończony jest pięcioma wytycznymi do projektowania matryc przeznaczonych do procesu wyciskania metodą KOBO.

W ocenie rozdziału należy stwierdzić, że jest to główny rozdział pracy zawierający plan badawczy, metodykę i sposób realizacji badań oraz uzyskane rezultaty i ich analizę. Nasuwa się szereg wątpliwości i uwag dotyczących m.in konstrukcji matryc, doboru materiału wsadowego, parametrów technologicznych testów, które bardziej szczegółowo podano w uwagach do pracy. Niezależnie od zastrzeżeń, treść rozdziału zawiera obszerny materiał badawczy, który wnosi szereg informacji nt. procesu wyciskania metodą KOBO.

W ostatnim, szóstym rozdziale zamieszczono 5 wniosków dotyczących zalet metody KOBO oraz wpływu konstrukcji matryc na siłę wyciskania i schemat płynięcia materiału. Pierwszy wniosek dotyczący efektywności procesu wyciskania metodą KOBO jest dosyć oczywisty i wielokrotnie prezentowany w literaturze światowej, a ponadto dotyczy m.in. stopów magnezu, których w pracy nie badano. Pozostałe wnioski korespondują z treścią rozprawy.

Bibliografia nie jest zbyt bogata, zawiera 71 pozycji, z których ponad 75% to publikacje obcojęzyczne. Tylko ok. 30% pozycji źródłowych pochodzi z ostatnich 10 lat. Niemniej jednak wykorzystane publikacje są ściśle związane z tematyką rozprawy i w mojej ocenie są wystarczające.

2. Ocena osiągnięć

Praca ma charakter doświadczalny i dotyczy procesu wyciskania metodą KOBO. Kandydat do stopnia doktora podjął się oceny wpływu konstrukcji matrycy na wybrane parametry procesu. Określił zależność pomiędzy liczbą i wymiarami rowków w matrycy a siłą wyciskania, własnościami wytrzymałościowymi, twardością, makrostrukturą i mikrostrukturą wyrobu. Dokonał analizy kinematyki płynięcia materiału i podziału na strefy ze względu na zachodzące w nim odkształcenia. Przy realizacji rozprawy Kandydat do stopnia doktora wykazał się umiejętnością planowania i prowadzenia eksperymentu, realizacji badań metalograficznych, pomiaru twardości i badań wytrzymałościowych. Wykazał się również biegłością w projektowaniu narzędzi. Sposób wykorzystania metod badawczych świadczy o Jego dobrym przygotowaniu do prowadzenia badań naukowych. Niezależnie od krytycznej oceny niektórych rozwiązań, uzyskane wyniki potwierdziły słuszność przyjętych koncepcji badawczych.

Podsumowując należy stwierdzić, że osiągnięcia opisane w rozprawie stanowią opracowanie odrębnego zagadnienia naukowego mieszczącego się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Kandydat do stopnia doktora wykazał się wiedzą z obszaru przeróbki plastycznej, zawierającej się w w/w dyscyplinie. Potrafił rozwiązać sformułowany problem naukowy, co potwierdza Jego umiejętność prowadzenia pracy badawczej.

Lektura rozprawy nasuwa szereg pytań, z których najważniejsze podano poniżej.

1. Na jakiej podstawie dobrano parametry technologiczne procesu: prędkość wyciskania, częstotliwość i kąt oscylacji matrycy? Dlaczego w badaniach wstępnych stosowano częstotliwość oscylacji równą 5 Hz a w badaniach systematycznych 7 Hz?
2. Dlaczego w badaniach wstępnych wyciskano materiał warstwowy (stop Al 7075/M1E) a w badaniach systematycznych stop aluminium 7075? Jeżeli założono, że na podstawie wyników badań wstępnych opracowany będzie plan badań systematycznych, to jakie znaczenie w tym zakresie miały wyniki badań wstępnych wyciskania materiału warstwowego?
3. Jak dobrano liczbę rowków i ich głębokość w badaniach wstępnych i jakie znaczenie miały wyniki tego etapu badań na konstrukcję matrycy w badaniach systematycznych?

4. Dlaczego narzędzia w badaniach wstępnych wykonano ze stopu Inconel 718, a w systematycznych ze stali narzędziowej do pracy na gorąco WCL? Jaki jest wpływ, podanych w tytule rozprawy, parametrów materiałowych matryc na efekty plastycznego odkształcenia badanych stopów?
5. W treści pracy nie ma żadnych badań dotyczących stopów Mg wymienionych w temacie pracy.
6. Na stronie 40 podano, że jednym z materiałów badanych były brykietowane wióry ze stopu aluminium 2024 (rys. 35), ale w pracy nie przedstawiono żadnych wyników dotyczących tego materiału.

Drobniejsze uwagi, w większości o charakterze edycyjnym i językowym zaznaczono w tekście i zostaną przekazane Kandydatowi do stopnia doktora.

3. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Marka Zwolaka zawiera oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego dotyczącego procesu wyciskania metodą KOBO. Kandydat do stopnia doktora wykazał się należyłą ogólną wiedzą w tematyce rozprawy oraz umiejętnością prowadzenia badań naukowych. Jego osiągnięcia, wymienione w rozdziale 2. recenzji stanowią zauważalny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna. Zaprezentowane wyniki mają potencjał użyteczny. Biorąc pod uwagę zakres zrealizowanych prac badawczych i uzyskane rezultaty, pomimo podanych w recenzji zastrzeżeń, rozprawę oceniam pozytywnie.

Na podstawie podanej oceny stwierdzam, że opiniowana praca mgra inż. Marka Zwolaka spełnia ustawowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim. Wniosuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

