

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Pater  
Wydział Mechaniczny  
Politechnika Lubelska

## RECENZJA

**Rozprawy doktorskiej mgra inż. Tomasza Latosa**

**pt.: „Analiza stanu naprężenia i odkształcenia w procesie kształtowania ultracienkościennych wyrobów powłokowych ze stopu aluminium typu AlMn1Mg1Cu”, wykonana na zlecenie Rady Wydziału Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie**

### Ogólna charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Latosa pt. „Analiza stanu naprężenia i odkształcenia ultracienkościennych wyrobów powłokowych ze stopu aluminium AlMn1Mg1Cu” dotyczy interesującego problemu doskonalenia technologii kształtowania plastycznego pod kątem zmniejszenia materiałochłonności wytwarzania. Na podkreślenie zasługuje przy tym dobór obiektu badań, którym jest puszka napojowa - powszechnie wykorzystywana w przemyśle spożywczym. Czyni to rozważania zawarte w pracy utylitarnymi i ukierunkowanymi na polepszenie obecnie stosowanej technologii wytwarzania wyrobów tego typu.

Cel i teza pracy zostały sformułowane w sposób poprawny i jednoznaczny. Istotą rozprawy jest wykazanie, że wprowadzenie dodatkowej operacji wstępnego odkształcenia dna wytłoczki nie przeszkodzi w realizacji kolejnej operacji wytwarzania puszki napojowej, a korzystnie wpłynie na zmniejszenie ilości materiału niezbędnego do ukształtowania wyrobu. Dla weryfikacji postawionej tezy wykonano obszerne analizy numeryczne, w których wykorzystano metodę elementów skończonych. Przeprowadzono także próby technologiczne wytłaczania wykorzystując specjalnie wykonany w tym celu przyrząd - tłocznik.

Teza podana w rozprawie jest oryginalna i nie znajduje podobieństwa do znanych mi rozwiązań przedstawianych w literaturze specjalistycznej. Uzyskane rezultaty są użyteczne i mogą stanowić podstawę do modernizacji obecnie stosowanej technologii wytwarzania wyrobów typu puszka napojowa.

Rozprawa doktorska została zredagowana na 289 stronach. Jest ona bogato ilustrowana aż 282 rysunkami i 23 tabelami. Praca została przedstawiona w 24 punktach, oprócz których wyróżniono spisy literatury, tabel oraz rysunków.

Punkty pracy zostały zgrupowane w dwóch rozdziałach. Pierwszy z nich (punkty 3-9) odnosi się do analizy stanu zagadnienia. Scharakteryzowano w nim podstawowe procesy kształtowania blach, takie jak: wykrawanie, wytłaczanie, przetłaczanie i wyciąganie. Opiszano tutaj także zjawisko anizotropii oraz przedstawiono przykładowy proces produkcji wytłoczek cienkościennych wraz z testami stosowanymi dla wyrobów tego typu. Podano tutaj również podstawowe informacje na temat metody elementów skończonych. Rozdział zakończono przeglądem literatury i patentów w zakresie analizy procesów kształtowania wyrobów cienkościennych, w którym ograniczono się do podania podstawowych schematów procesów dotychczas analizowanych oraz informacji na temat grubości blach kształtowanych.

Drugi rozdział pracy (punkty 11-24) odnosi się do badań własnych. W pierwszej kolejności przedstawiono tutaj przyjętą metodologię prac badawczych. Następnie opisano badania, które przedsięwzięto w celu opracowania modelu kształtowanego materiału, wykorzystanego w analizie numerycznej. Najwięcej miejsca w tej części pracy poświęcono omówieniu wyników wykonanych symulacji numerycznych procesu kształtowania puszki napojowej; zarówno obecnie stosowanego, jak i w wersji zmodernizowanej, zaproponowanej przez Doktoranta. W dalszej części rozdziału przedstawiono przyrząd do tłoczenia oraz stanowisko laboratoryjne, w którym wykonano próby tłoczenia. Rozdział zakończono porównaniem wyników uzyskanych z obliczeń oraz z badań doświadczalnych.

Bibliografia rozprawy zawiera 82 pozycje, z których 20 stanowią patenty. Źródła bibliograficzne wykorzystane w pracy są aktualne; tylko 22 cytowane w pracy pozycje (26,8%) były opublikowane przed rokiem 2000. Na uwagę zasługuje także fakt, iż współautorem 4 publikacji cytowanych w rozprawie jest Doktorant.

### **Uwagi do pracy**

Rozprawa w zdecydowanej większości napisana jest w sposób komunikatywny, jednak Autor nie ustrzegł się wielu nieścisłości i błędów, a szereg zagadnień nie zostało wyjaśnionych w sposób wyczerpujący. Uwagi i zapytania, które nasunęły mi się w trakcie lektury rozprawy wyspecyfikowano poniżej.

- W pracy występują sporadycznie błędy gramatyczne i interpunkcyjne, a także niefortunne określenia, np.: str. 223 "wysokość ruchu stempla", str. 228 "materiał dość niechętnie się pocienia".
- Praca jest bardzo obszerna, dlatego też można ją było zredukować w następstwie:
  - usunięcia fragmentów trywialnych, np.: w zakresie wiadomości ogólnych na temat wytłaczania oraz anizotropii, które w takiej formie podawane są w toku studiów I stopnia;
  - unikania powtarzania tych samych informacji, np.: opis odnoszący się do analiz możliwych do wykonania w programie LS-Dyna zamieszczony na stronie

- 110 był uprzednio podany na stronach 82 i 83; identyczne treści podane zostały na rysunkach 15.1, 14.1 i 14.3.1 lub na rys. 3.2.7.1 i 10.1;
- unikania pozostawiania w tekście rozprawy stron wypełnionych treścią tylko w części, np. str.: 166;
  - usunięcia powtórzenia w treści rozdziału 9 listy danych bibliograficznych podanych identycznie jak w spisie literatury - poz. [40-82]; zamiast tej listy w pracy powinna znaleźć się krytyczna analiza treści cytowanych prac;
  - wyeliminowania wielu rysunków, które nie wnoszą do pracy istotnych informacji, np.: rys. 13.8.4-13.8.6 (dane zamieszczone na tych rysunkach podano w tabeli 13.8.1), rys. 20.2.1 i 20.2.2 przedstawiające standardowe elementy stanowiska badawczego, szereg rysunków wykonawczych odnoszących się do elementów stanowiska badawczego, w których zamazano wymiary (na marginesie takie przedstawienie dokumentacji stanowi ujawnienie istoty rozwiązania, które Doktorant zamierza objąć ochroną patentową).
- Pomimo dobrze przygotowanej strony edycyjnej rozprawy do niektórych jej elementów można zgłosić zastrzeżenia. Są to:
    - oznaczanie tych samych parametrów procesu różnymi symbolami, np. na stronie 13 siła wykrawania oznaczana jest zarówno przez  $P$  jak i przez  $F$ ;
    - stosowanie wielopoziomowej numeracji rysunków (np. rys. 3.1.1.1. - str. 14), która ogranicza czytelność pracy;
    - brak podania źródła wielu rysunków cytowanych w pracy, np. rys. 3.2.1.1, 3.2.1.2, 3.2.2.1, 3.2.5.1, 3.2.6.1, 3.2.9.1, 3.2.9.2, 3.3.1.1, 3.3.2.1, 5.1.1.);
    - oddzielanie miejsc dziesiętnych w liczbach kropkami i przecinkami (np. w tab. 7.2.1, tab. 9.1.1); w języku polskim w tym celu stosuje się przecinki;
    - brak osi symetrii na rysunkach przedstawiających elementy osiowo-symetryczne: np. rys. 16.1.1 (str. 195), rys. 18.1 (str. 219), rys. 19.8 (str. 226), rys. 19.11 (str. 229).
  - Na str. 44 podano, że w procesie wyciągania nie zmienia się średnica wyłtoczki, co jest sprzeczne ze schematem tego procesu pokazanym na rys. 3.4.1.1 (str. 45).
  - Na str. 61 podano, że różnica pomiędzy średnicami matrycy  $D_m$  i stempla  $D_s$  równa jest szczelinie narzędziowej. Stwierdzenie to jest błędne, gdyż różnica między tymi wymiarami stanowi luz bezwzględny, a wartość szczeliny przyjmuje się równą  $1/2$  luzu.
  - Opisując moduł BSE solvera LS-Dyna podano, że jest on kompletnym rozwiązaniem do dokładnego oszacowania pustych obszarów. Stwierdzenie to jest niezrozumiałe, czy chodzi tutaj o uzyskanie najmniejszego zużycia materiału (minimalizację odpadów)? Na marginesie, co oznaczają przywołane w opisie tego modułu pojęcia "cena za kawałek materiału" i "cena złomowa"?
  - Doktorant nadużywa terminu optymalizacja. W punkcie 11.1 napisano wręcz, że drugi etap badań był etapem optymalizacji wytypowanych rozwiązań zaś punkt 16.2 zatytułowano "Optymalizacja geometrii stempla". Tymczasem w pracy nie

wykonano żadnej optymalizacji - nie określono zmiennych decyzyjnych, nie dobrano funkcji celu oraz nie wybrano metody optymalizacji.

- Zastrzeżenia można zgłosić do sposobu doboru programu do obliczeń numerycznych. Porównanie programów MES zamieszczone w punkcie 12.1 jest subiektywne i bazuje na preferencjach Autora rozprawy. Obiektywny dobór programu powinien bazować na rezultatach benchmarku zestawionych z przebiegiem procesu rzeczywistego.
- Na rys. 13.2.12÷13.2.14 błędnie przedstawiono wartości grubości minimalnych i maksymalnych (wszystkie równe są 0,00). Również błędnie przedstawiono osie rzędnych na tych rysunkach.
- Na rys. 13.38 wydłużenie wyrażone jest w wartościach rzeczywistych, a nie w % jak podano w opisie osi rzędnych.
- Dlaczego badając tłoczność blach Doktorant obliczał odkształcenia w skali logarytmu dziesiętnego? W tym celu wykorzystywana jest skala logarytmu naturalnego i w takiej też skali wyznaczane są odkształcenia w symulacji numerycznej. Czy zastosowanie skali logarytmu dziesiętnego miało wpływ na prognozowanie pęknięcia materiału w procesie wytłaczania (rys. 14.2.4, 14.5.4, 14.5.10, 14.5.15, 14.5.20, 15.2.3)?
- Do wyznaczenia krzywej umocnienia zastosowano próbę rozciągania. W konsekwencji uzyskano zależność naprężenia uplastyczniającego od intensywności odkształcenia dla bardzo małej wartości odkształcenia (poniżej 0,05). Tymczasem zgodnie z wynikami obliczeń numerycznych maksymalne odkształcenie po trzecim wyciągnięciu było równe aż 1,8. Czy zatem zastosowany model materiałowy gwarantował uzyskanie odpowiednich wyników? Dlaczego nie zastosowano innej metody wyznaczenia krzywej umocnienia, np. ściskania? Ponadto w wyznaczonym w zastosowany sposób modelu materiałowym pominięto w ogóle wpływ prędkości odkształcenia na naprężenie uplastyczniające. Dlaczego?
- Analiza danych zamieszczonych na rys. 13.7.1÷13.7.3 wykazuje, że chropowatość  $R_a$  wynosi 0,3  $\mu\text{m}$ , 0,31  $\mu\text{m}$  i 0,32  $\mu\text{m}$  odpowiednio dla początku, środka i końca kręgu taśmy. Tymczasem na rysunku 13.7.4 podano dziesięciokrotnie większe wartości tego parametru. Dlaczego?
- Zastrzeżenia można zgłosić też do modelu MES analizowanego procesu wytłaczania. I tak, w rozprawie nie przedstawiono dyskretyzacji przedmiotu obrabianego (wytłoczki) oraz nie podano informacji czy podczas obliczeń stosowano przebudowę siatki elementów, a jeśli tak to kiedy. Jednakże największym mankamentem w zakresie opisu modelu MES jest brak jakichkolwiek informacji na temat modelu tarcia wykorzystanego w obliczeniach. Notabene, wartości współczynników tarcia powinny być określone przez Doktoranta eksperymentalnie w czasie badań materiałowych.
- Na str. 151 podano, że ruch i siła dociskacza zostały zdefiniowane w punkcie 12.3 pracy. Jednakże w rozprawie taki punkt nie występuje.

- Na str. 183 błędnie podano, że po 3 wyciągnięciu grubość ścianki wynosi 0,95 mm - winno być 0,095 mm.
- Doktorant dokonał skomplikowanych obliczeń aktualnie stosowanego procesu wytłaczania puszek napojowej. Jednakże nie przeprowadził walidacji przyjętego modelu numerycznego. Można było ją wykonać porównując np. grubości ścianek wytłoczki po poszczególnych etapach kształtowania, uzyskane z obliczeń i zmierzone.
- Wprowadzenie wstępnego odkształcenia blachy spowodowało fałdowanie wytłoczki w procesie przetłaczania. Doktorant nie przedstawił jednak rozwiązania pozwalającego na usunięcie tego mankamentu. Zatem proponowana zmiana technologii wytwarzania puszek napojowych nie może być zastosowana w produkcji i prace badawcze powinny być kontynuowane. Zastanawiające jest przy tym dlaczego nie wykonano całościowej symulacji numerycznej nowego procesu wytłaczania, tj. z wyciągnięciem i kształtowaniem dna.
- Co oznacza stwierdzenie podane na str. 234, że dokładność prasy wynosi 0,2 mm?
- Na str. 244 Doktorant odwołuje się do rys. 20.3 oraz 20.4a i 20.4b, których nie ma w pracy.
- Stwierdzenia odnośnie oszczędności, jakie może dać nowa metoda kształtowania są na wyrost, gdyż nie usunięto wady fałdowania występującej w procesie zmodernizowanym.

### Wniosek końcowy

Pomimo wyszczególnionych uprzednio uwag, biorąc pod uwagę zakres rozważań teoretycznych oraz badań eksperymentalnych uważam, że przedstawiona do recenzji praca stanowi wartościowy wkład do teorii i technologii procesów obróbki plastycznej metali.

Doktorant wykazał dobrą orientację w tematyce będącej przedmiotem dysertacji, potrafił wyodrębnić istotne problemy naukowe oraz zastosować nowoczesne metody badawcze do ich rozwiązania. Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Tomasza Latosa pt. „Analiza stanu naprężenia i odkształcenia w procesie kształtowania ultracienkościennych wyrobów powłokowych ze stopu aluminium typu  $AlMn1Mg1Cu$ ” spełnia wymogi określone w **Ustawie o stopniach i tytule naukowym** oraz wnioskuję o dopuszczenie do jej obrony publicznej.

*Włodzisław Pater*