

Lublin 08.06.2019 r.

dr hab. inż. Jarosław Bartnicki, prof. PL  
Wydział Mechaniczny  
Politechnika Lubelska

## RECENZJA

**Rozprawy doktorskiej mgr inż. Romualda Fejkiela**

**pt.: „Analiza oporów tarcia podczas przejścia blachy przez próg ciągowy w procesie tłoczenia blach”**

**wykonana na zlecenie Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa  
Politechniki Rzeszowskiej**

### Ogólna charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Romualda Fejkiela pt.: „Analiza oporów tarcia podczas przejścia blachy przez próg ciągowy w procesie tłoczenia blach” dotyczy interesującego i ciągle zyskującego na aktualności problemu doskonalenia technologii kształtowania plastycznego wyrobów wytwarzanych blach o coraz bardziej złożonej geometrii. Dzięki wprowadzaniu nowych rozwiązań w dziedzinie tłocznictwa możliwe jest wytwarzanie wyrobów o kształtach niedostępnych do niedawna za pomocą tradycyjnych rozwiązań. Obok możliwości technicznych bardzo ważnym aspektem jest w tym przypadku także ekonomika produkcji oraz problematyka niezawodności wytwarzanych części.

Podany w temacie pracy obszar badawczy dotyczy problematyki modelowania numerycznego procesów kształtowania blach w zakresie wyznaczania współczynników tarcia w realizowanych operacjach. Badania wstępne, mające na celu weryfikację działania symulatora progu ciągowego, posłużyły do właściwej analizy wpływu szerokości próbki na jej kontakt z walcami oraz uzyskiwane wartości współczynników tarcia w prowadzonym procesie kształtowania.

Cele i teza pracy zostały sformułowane w sposób poprawny i jednoznaczny. Istotą rozprawy jest określenie, że dla blachy wykazującej anizotropię własności mechanicznych oraz kierunkowość topografii powierzchni do jej kształtowania w progu ciągowym konieczne jest stosowanie trójwymiarowych modeli obliczeniowych ze względu na zmianę współczynnika tarcia. Potwierdzenie tej tezy dla blachy stalowej niskowęglowej w gatunku DC04 w badaniach doświadczalnych oraz obliczeniach numerycznych dla różnych warunków smarowania, różnych wysokościach progu ciągowego oraz różnych szerokościach próbek dało podstawę do budowy modelu zmian oporów tarcia za pomocą sztucznych sieci neuronowych. Wysoko należy ocenić warsztat Doktoranta, który poradził sobie z trudnym zagadnieniem z pogranicza teorii i technologii procesów kształtowania blach, zaś uzyskane wyniki mogą znaleźć szerokie zastosowanie w realizacji symulacji

procesów z właściwie dobranymi danymi wejściowymi dotyczącymi występującego w procesie zjawiska tarcia.

Teza przedstawiona w pracy jest oryginalna i nie znajduje podobieństwa do znanych mi rozwiązań przedstawionych w literaturze specjalistycznej. Ważne jest przy tym, że Doktorant wraz z promotorem zadbał o kompleksowe przebadanie próbek w szerokim zakresie parametrów, co pozwoliło na sformułowanie nie tylko wniosków naukowych, ale i zaleceń dotyczących modelowania numerycznego procesów tłoczenia.

Rozprawa doktorska została zredagowana na 187 stronach, do których dołączono projekt tłoczniaka (8 rysunków). Jest ona bardzo bogato ilustrowana rysunkami oraz tabelami. Praca została podzielona na dziesięć części, oprócz których wyróżniono streszczenia w językach polskim i angielskim.

Rozdział drugi pracy (13 stron) zawiera analizę literaturową stanu zagadnienia poruszanego w pracy doktorskiej. Omówiono w niej problematykę tarcia w procesach kształtowania oraz opisano stan warstwy wierzchniej materiału w odniesieniu do prowadzonej analizy.

W rozdziale trzecim (17 stron) skupiono się na metodyce badań oporów tarcia w procesach formowania blach. Podano także metodykę zastosowania w obliczeniach teoretycznych Metody Elementów Skończonych oraz rozwiązania opierające się o sztuczne sieci neuronowe.

Po podaniu celu i zakresu pracy w rozdziale czwartym, w rozdziale piątym (43 strony) skupiono się na badaniach eksperymentalnych, gdzie szczegółowo i wyczerpująco przedstawiono metodykę i plan badań.

Opis zastosowania sztucznych sieci neuronowych znalazł miejsce w rozdziale szóstym pracy (16 stron) i podano w nim opis budowy i analizy wybranych modeli – regresyjnego i prognostycznego wraz z komentarzem.

Badania MES znalazły miejsce w rozdziale siódmym pracy (27 stron), gdzie szczegółowo opisano warunki brzegowe, w tym sposób modelowania, model tarcia, model materiałowy.

Przedstawione wyniki obliczeń zweryfikowano w symulatorze prądu ciągłego w warunkach laboratoryjnych, co podano w rozdziale ósmym pracy (23 strony). Weryfikację zgodności wyników obliczeń MES wykonano w oparciu o wartości sił kształtowania, które uwzględniają opory tarcia oraz opory odkształcenia plastycznego badanych próbek.

W części dziewiątej (3 strony) zawarto podsumowanie pracy oraz zredagowano wnioski końcowe.

Bibliografia rozprawy zawiera 170 pozycji. Literatura cytowana w pracy jest aktualna, tylko 63 pozycje były opublikowane przed rokiem 2000. Na uwagę zasługuje także fakt, iż współautorem 9 publikacji cytowanych w rozprawie jest Doktorant.

## Uwagi do pracy

Rozprawa doktorska napisana jest językiem komunikatywnym oraz pozbawiona jest często występujących w pracach tego typu błędów o charakterze gramatycznym i interpunkcyjnym. Jednakże Autor nie ustrzegł się szeregu nieścisłości. Uwagi i zapytania, które nasunęły mi się w trakcie lektury rozprawy wyspecyfikowano poniżej.

- Pomimo doskonale przygotowanej strony edycyjnej rozprawy do niektórych jej elementów można zgłosić zastrzeżenia. Są to:
  - pozostawienie oryginalnych opisów osi rysunków lub legend pomimo dokonywania szerokich zmian edycyjnych – rys 7.2.2, 7.2.3, 7.3.2.1, rys. 7.3.2.2, rys 7.3.2.13-16;
  - błędne stosowanie kropek zamiast przecinków oddzielających miejsca dziesiętne np. na stronie 89 w tabelach 5.4.5 oraz 5.4.6 podczas gdy stronę wcześniej (tabela 5.4.4) jest prawidłowo, na stronie 156 w opisie wielkości stosowanych elementów i trzy wersy dalej już prawidłowo.
- W pracy w rozdziale 7 przedstawiono analizę numeryczną MES oraz dobór wielkości siatki elementów skończonych. Zgodnie z tabelą 7.2.1 stosowano najmniejsze elementy o rozmiarze powierzchniowym  $0,4167 \times 0,4167$ . Jak był trzeci wymiar tych elementów i w konsekwencji ich liczba na grubości blachy? Na stronie 156 podano wielkość elementów  $1,667 \times 1, 1667$  oraz ich liczbę 5 na grubości blachy odnosząc się do rozdziału 7.2, gdzie wartości te są inne. Czy nie na wysokości elementów i w konsekwencji ich liczbie na grubości blachy należało oprzeć także analizę dokładności prowadzonych obliczeń?

## Wniosek końcowy

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

Doktorant wykazał się dobrą orientacją w tematyce będącej przedmiotem dysertacji, przeanalizował problematykę podanego zagadnienia oporów tarcia, potrafił wyodrębnić istotne problemy naukowe oraz zastosować nowoczesne metody badawcze do ich rozwiązania. Stwierdzam zatem, że przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Romualda Fejkiela pt.: „Analiza oporów tarcia podczas przejścia blachy przez próg ciągowy w procesie tłoczenia blach” spełnia wymogi określone w **Ustawie o stopniach i tytule naukowym** oraz wnioskuję o dopuszczenie do jej publicznej obrony.

Jaworski Bartuś