

## OPINIA O ROZPRAWIE DOKTORSKIEJ

mgr inż. Waldemara Witkowskiego  
"Wpływ parametrów technologicznych  
na nośność połączeń przetłaczanych"

### **1. Podstawa prawna**

Recenzję wykonano na zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukaszczyka w Rzeszowie Prof. dr hab. inż. Jarosława Sępa . Pismo z dnia 19 kwietnia 2017 r.

### **2. Strona formalna rozprawy**

Przedstawiona mi do recenzji praca liczy 123 strony tekstu podzielonego na siedem rozdziałów. W rozdziałach tych zamieszczono 112 rysunki oraz 33 tabele. Do pracy dołączono indeks literatury zawierający 198 pozycji oraz dwa jedno stronicowe streszczenia w języku polskim i angielskim.

### **3. Tematyka, zakres i cel rozprawy**

Zgodnie z klasycznym układem treści pierwsza część rozprawy (Rozd.1.) została poświęcona sformułowaniu genezy pracy oraz omówieniu stanu wiedzy w zakresie technologii łączenia elementów poprzez ich plastyczne odkształcenie (zaciskanie przez przetłaczanie) na zimno. W języku angielskim proces formowania połączeń tego typu jest określany mianem clinching (CL), i obejmuje sobą szerokie spektrum realizacji różniących się liczbą operacji oraz kształtem narzędzi.

Doktorant – w oparciu o obszerne (obejmujące 198 pozycji bibliograficznych) studia literatury przedmiotu omówił charakterystykę przedmiotowych połączeń oraz wskazał obszary, w których w jego opinii nasza wiedza w tym zakresie powinna zostać uzupełniona. Wystawia to dobre świadectwo Doktorantowi, który rozumie, iż bez dogłębnej znajomości aktualnego stanu wiedzy trudno podejmować własny trud poznawczy.

Warto w tym miejscu zauważyć także, iż blisko 50% cytowanych prac zostało opublikowanych w ostatnim pięcioleciu, co jednoznacznie świadczy o aktualności i wadze podjętej w rozprawie problematyki.

W istocie bowiem wprowadzanie nowych tworzyw konstrukcyjnych, potrzeba łączenia z sobą elementów wykonanych z materiałów różniących się nieraz diametralnie swymi własnościami mechanicznymi, a wreszcie coraz powszechniejsza automatyzacja procesów montażu wymagają zarówno opracowywania nowych technik wykonywania połączeń, jak i doskonalenia już istniejących. Uwarunkowania te pozwalają uznać dokonany przez Doktoranta wybór tematyki badań za ze wszech miar słuszny i celowy.

Przedstawiona analiza i wynikające z niej wnioski stały się podstawą do sformułowania celów i tezy pracy (Rozd.2) oraz dróg prowadzących do jej udowodnienia (Rozd.3).

Cele te sprowadzają się najogólniej do takiego zaprojektowania narzędzia (matrycy), aby przy zachowaniu wymaganej nośności złącza osiągnąć obniżenie energochłonności procesu przy jednoczesnym ograniczeniu zasięgu i poziomu koncentracji odkształceń plastycznych.

Zgodnie z zamierzeniami Doktoranta drogą do realizacji tych celów były prowadzone w szerokim zakresie badania eksperymentalne – przedstawione w Rozd.3, 4 i 5 – wsparte jedynie wycinkową analizą numeryczną procesu formowania złącza –Rozd.6.

Postawa taka korzystnie wyróżnia przedstawioną rozprawę na tle utrzymującego się od wielu już lat deficytu prac o tym charakterze.

Podsumowaniem pracy są zawarte w Rozd.7 wnioski i kierunki dalszych badań.

## *Ocena merytoryczna*

W badaniach złożonych zjawisk fizycznych, każdy z adeptów nauki staje prawie zawsze przed koniecznością rozstrzygnięcia na ile celem jego będzie przede wszystkim dokonanie całościowego ich opisu - z koniecznymi w tych warunkach ograniczeniami w zakresie szczegółowego ujęcia - na ile zaś skoncentrowanie się jedynie na dogłębnym poznaniu jednego wybranego ich aspektu.

Przedstawiając swój plan badań mgr inż. Waldemar Witkowski zdecydował się na wybór pierwszej z wymienionych dróg, gdzie jedynym przyjętym przez niego ograniczeniem było zawężenie się do analizy przetłaczania jedynie z użyciem narzędzi o osiowo-symetrycznym (okrągłym) kształcie.

Wybór taki uważam za w pełni poprawny. Jakkolwiek bowiem spośród innych stosowanych kształtów narzędzi tak uzyskane złącza charakteryzują się niższą wytrzymałością, to jednak jest ona kompensowana poprzez łatwość współosiowego ustawienia stempla i matrycy oraz brak naruszenia powłoki cynkowej pokrywającej powierzchnie łączonych blach, co ma istotne znaczenie eksploatacyjne (ochrona przed korozją)

Objęcie analizą bardzo szerokiego – prawie kompletnego (Rys.3.1) – zespołu zagadnień pozwoliło Doktorantowi na uzyskanie szeregu wartościowych i oryginalnych informacji istotnie poszerzających naszą wiedzę w zakresie wpływu konstrukcji matrycy, średnicy stempla i jego pasowania z matrycą, a także minimalnej grubości dna przetłoczenia (X) na wytrzymałość oraz zasięg i koncentrację odkształceń plastycznych w obszarze złącza typu CL.

Interesujące jest przy tym stwierdzenie, iż w zakresie stosowanych wartości prędkość przetłaczania nie wywiera istotnego wpływu na parametry złącza.

Osiągnięte rezultaty skłaniają też do prowadzenia dalszych badań nad optymalizacją konstrukcji narzędzi - w tym poprzez zastosowanie matryc 2, 3, i 4 częściowych - przyjmując jako funkcję celu ograniczenie energochłonności procesu.

Bardzo pozytywnie oceniam przy tym, iż badania charakterystyki wytrzymałościowej połączeń przetłaczanych uzupełnione zostały programem badań metalograficznych. Jest to bowiem niezbędne dla poprawnego wnioskowania o jakości tak otrzymanego złącza w kontekście wywołanych odkształceniem zmian struktury sieci krystalicznej, a także możliwości pojawienia się dyskwalifikującej to złącze mikropęknięć.

Zastrzeżenia budzi natomiast bardzo skrótowe potraktowanie w rozprawie problemu wytrzymałości złącza o większej liczbie pojedynczych przetłoczeń. Doktorant ograniczył się tu jedynie do rozpatrzenia przypadku złącza pojedynczego oraz podwójnego w wariacie wzdłuż i w poprzek działania siły ścinającej. Otwartym pozostaje natomiast pytanie odnośnie

rozkładu obciążenia przypadającego na poszczególne zamki w połączeniu z „n” dowolnie rozmieszczonymi przetłoczeniami. Czy istnieją tu prawidłowości znane z występowania w szwach nitów o konwencjonalnej budowie. Oczekiwałbym tu odpowiedzi Doktoranta, a może i szerszej dyskusji.

Wyrażając się z uznaniem o programie i poziomie naukowym eksperymentalnej części rozprawy, pragnę wszakże wskazać, iż w mojej opinii zabrakło w niej analizy rzeczywistego charakteru obciążeń przenoszonych przez tego typu złącza. Stworzyło by to podstawę do racjonalnego rozszerzenia zakresu badań poświęconych wytrzymałości zmęczeniowej złączy przetłaczanych, w miejsce arbitralnego i bez uzasadnienia przyjęcia jednostronnego dodatniego cyklu o charakterze sinusoidalnym. Jest to tym istotniejsze, iż z reguły wytrzymałość zmęczeniowa złączy typu CL sytuuje się poniżej alternatywnych, a szeroko stosowanych połączeń spawanych czy zgrzewanych. Brak dostatecznej wiedzy w tym zakresie i konieczność jej uzupełnienia wynika już z resztą z przeprowadzonej przez Doktoranta analizy dotychczasowego stanu wiedzy. Wierzę, iż obrona pracy stworzy tu możliwość przedyskutowania tych problemów w szerszym gronie.

Skoncentrowanie się mgr inż. Waldemara Witkowskiego na obszernych badaniach eksperymentalnych w naturalny niejako sposób skutkuje znaczącym ograniczeniem zakresu przeprowadzonej w rozprawie analizy teoretycznej. Analiza taka – inaczej jak ma to miejsce w rozpatrywanym przypadku – poprzedza z reguły prowadzenie eksperymentu, co ma tę istotną zaletę, iż pozwala – w oparciu o uzyskaną na tej drodze wiedzę - bardziej racjonalnie zaplanować ich program

W obliczeniach prowadzonych przy wykorzystaniu Metody Elementów Skończonych<sup>1</sup> przyjęto konwencjonalny sprężysto – plastyczny, izotropowy model materiału łączonych blach oraz sztywny model dla narzędzi biorących udział w procesie tj. matrycy i stempla. Nie podano wszakże bliższych informacji dotyczących atrybutów poszczególnych obiektów modelu. Brak jest tu bowiem tak istotnych dla oceny wiarygodności uzyskanych wyników danych jak parametry sieci MES - liczba elementów i węzłów, rozkład ich zagęszczenia, charakterystyka przebudowy sieci (remeshing) - czy wreszcie opisu użytej bazy sprzętowej i czasu obliczeń (przy założonym stopniu wykorzystania procesora).

Wyjaśnienia wymaga też zasadność przyjęcia modelu tarcia Amontonsa - Coulomba dla opisu warunków na powierzchni kontaktu materiału i narzędzi, w tym zwłaszcza przyjmowania wartości współczynnika  $\mu$  bezpośrednio z przedziału wyznaczonego dla przemieszczania się po sobie ciał sztywnych. Przyjęta w modelu Amontonsa – Coulomba proporcjonalna

<sup>1</sup> W rozprawie brak jest informacji dotyczących z jakiego konkretnie pakietu MES Doktorant korzystał

zależność pomiędzy naciskiem normalnym, a siłą styczną (tarcia) występuje jedynie przy relatywnie niskich naciskach, sytuujących się znacznie poniżej występujących podczas procesu przetłaczania. W określonych warunkach dużym naciskom koniecznym do uformowania złącza może też towarzyszyć poślizg na powierzchni łączonych blach, a wywołany nim spadek chropowatości i wzrost rzeczywistej powierzchni kontaktu stwarza warunki do wystąpienia zjawiska adhezji.

Pewien niedosyt związany jest też z bardzo skromnym – dziewięć linijek tekstu - potraktowaniem w rozprawie perspektyw dalszych badań. Wierzę, że towarzysząca obronie pracy dyskusja naukowa będzie tu dla Doktoranta impulsem do śmielszych zamierzeń w tym zakresie.

Powyższe uwagi, acz krytyczne nie mogą wszakże wpłynąć na ogólnie bardzo pozytywny obraz pracy i uznanie dla przedstawionych w niej dokonań.

Decyduje o tym zarówno podjęcie trudnego - tak przez swą złożoność jak i wielorakie uwarunkowania – a przy tym istotnego z punktu widzenia budowy maszyn problemu nośności połączeń uzyskiwanych poprzez plastyczne odkształcenie łączonych elementów – *clinchng* CL.

Rozprawa w istotny sposób wzbogaca naszą wiedzę, a także - co równie istotne - może być podstawą dla dalszych prac tak teoretycznych jak i eksperymentalnych.

Wreszcie co bardzo istotne pozostaje ona w bliskim związku z rzeczywistymi problemami występującymi w przemyśle i jako taka może służyć do ich efektywnego rozwiązywania.

Recenzowana rozprawa wyróżnia się też dużą starannością edytorską.

Z drobnych błędów – prawie nie do uniknięcia w tak obszernej pracy pozwolę sobie wymienić następujące:

Str. 20, wiersz 10 – 13, -- sformułowania w zdaniu „*Oprócz maksymalnej siły....*”

są niepoprawne, gdyż drgania swobodne i wymuszone nie są ani parametrami ani wskaźnikami połączenia

Str. 32, wiersz 10 od góry - brak w zdaniu wyrazu „*być*”

Str.35, - Rys.3.1 powinien być zakwalifikowany raczej jako tabela

Str.62, - Rys.3.32 *Mikroskop skaningowy HITACHI.*, nie wnosi żadnych istotnych treści i jako taki powinien być usunięty

Pod rozważę Doktoranta poddaję natomiast ewentualne zastąpienie używanych w rozprawie terminów „siła odrywania”, „odrywanie” przez bardziej jednoznaczne „siła normalna do powierzchni złącza”, „rozłączenie w kierunku normalnym do powierzchni złącza”.

## 5. *Ocena końcowa*

Podsumowując stwierdzam, iż przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Waldemara Witkowskiego p.t.: "Wpływ parametrów technologicznych na nośność połączeń przetłaczanych" podejmuje istotne problemy poznawcze o dużym potencjale aplikacyjnym.

Podjęte w rozprawie problemy zostały rozwiązane przy użyciu poprawnie wybranych i odpowiadających bieżącemu stanowi wiedzy narzędzi badawczych.

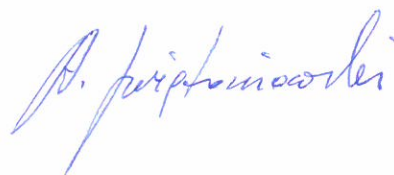
Rozprawa przedstawia sobą spójną i logiczną całość, a uzyskane wyniki zostały przedstawione w klarowny i jednoznaczny sposób.

Potwierdzają one słuszność tezy postawionej przez Doktoranta na początku pracy.

Rozprawa spełnia więc warunki przewidziane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach w zakresie sztuki, Dz. U. Nr 65, poz. 595.

Pozostaje też zgodna z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Edukacji Nauki i Sportu z dnia 15.01.2004 oraz Rozporządzenia Ministra Edukacji i Nauki z dnia 15.12.2005

**Upoważnia mnie to do postawienia wniosku o dopuszczenie rozprawy autorstwa mgr inż. Waldemara Witkowskiego p.t.: "Wpływ parametrów technologicznych na nośność połączeń przetłaczanych" na stopień doktora nauk technicznych do publicznej obrony.**



*Uwaga.*

*Na podstawie przeprowadzonej oceny rozprawy doktorskiej mgr inż. Waldemara Witkowskiego, a w szczególności doceniając jego trud związany z prowadzeniem badań eksperymentalnych oraz biorąc pod uwagę wartości aplikacyjne uzyskanych wyników stawiam wniosek o jej wyróżnienie zgodnie z procedurami obowiązującymi na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukaszewicza w Rzeszowie.*