

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Ireneusza Usydusa pt.: „Gięcie na zimno profili w giętarcie trójrolkowej” opracowana na zlecenie Z-cy Kierownika Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Lubelskiej, dr hab. inż. Jarosława Bieniaś z dnia 28 czerwca 2022 roku.

1. Zakres rozprawy

Różnego rodzaju materiały metalowe, gięte przy temperaturze otoczenia znajdują bardzo szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. W zależności od zastosowania wyroby po gięciu muszą spełniać określone wymagania odbiorowe, dotyczące właściwości wytrzymałościowych, kształtu przekroju, czy też szczelności i grubości ścianek w przypadku gięcia rur. Procesowi gięcia mogą być poddawane blachy i ta tematyka bardzo szeroko została opisana w literaturze tematu, jak również płaskowniki, kształtowniki lub rury. Wyginane „na zimno” kształtowniki i profile zamknięte znajdują szerokie zastosowanie w budownictwie, począwszy od małej architektury ogrodowej, a kończąc na elementach konstrukcyjnych mostów. Stosowane są również na odpowiedzialne elementy konstrukcyjne środków transportu: samochodów, czy też samolotów. Istotnym jest zatem, aby proces gięcia przeprowadzany był w taki sposób, aby tworzenie łuków nie wpływało negatywnie na właściwości mechaniczne oraz zapewniło utrzymanie kształtu giętego materiału w zakresie dopuszczalnych odchyłek wymiarowych. Jednym ze sposobów gięcia wymienionych wyrobów jest zginanie w giętarcie trójrolkowej, która dzięki prostocie budowy oraz łatwej możliwości adaptacji do gięcia wyrobów o różnych kształtach przekroju poprzecznego jest urządzeniem uniwersalnym.

Doktorant w swojej rozprawie podjął się analizy teoretyczno-doświadczalnej procesów zginania przy temperaturze otoczenia wyrobów metalowych o różnym kształcie i wymiarach przekroju poprzecznego, wykonanych ze stali S255JR za pomocą trójrolkowej giętarki. W pracy dokonał analizy procesów gięcia: płaskownika o wymiarach 50x5 mm, kątownika zimnogiętego o wymiarach 25x25x1,8 mm, kątownika gorącowałcowanego o wymiarach 25x25x3 mm, kształtownika zamkniętego o przekroju kwadratowym o wymiarach: 25x25x1.5 mm oraz kształtownika zamkniętego o przekroju prostokątnym o wymiarach: 30x18x1.5 mm. W przypadku kątowników procesy gięcia analizował przy ustawieniu półką pionową do wewnątrz tworzonego łuku oraz do zewnątrz łuku, natomiast w przypadku kształtownika o przekroju prostokątnym proces analizował tak, aby szerokość kształtowanego wyrobu wynosiła 18 mm w pierwszym przypadku oraz 30 mm w drugim przypadku. Przyjęcie takich założeń zmusiło Autora do przeprowadzenia prób doświadczalnych dla łącznie 8 przypadków giętego materiału w różnych wymiarach i różnym ułożeniu.

Oceniana rozprawa ma charakter typowo technologiczny i podstawowe badania przeprowadzono wykorzystując giętarkę trójrolkową BENDMAK TFM PRO-40, która posiada zewnętrzne rolki napędzane i obracające się ze stałą prędkością kątową wynoszącą

10 obr/min. Rozstaw rolek zewnętrznych w urządzeniu jest stały i wynosi 330 mm. Do procesów gięcia Doktorant zastosował rolki robocze o trzech różnych średnicach wynoszących 75, 130 i 155 mm, zarówno monolityczne, jak i o budowie segmentowej. Konstrukcja urządzenia umożliwia zadawania ugięcia wstępnego za pomocą mechanizmu śrubowego w zakresie $0\div 140$ mm. Głównym celem prowadzonych badań było określenie zależności rzeczywistego promienia gięcia materiału o określonym kształcie i wymiarach przekroju poprzecznego w zależności od zadanego ugięcia wstępnego. Zastosowano zarówno gięcie jednostopniowe, jak również wielostopniowe z każdym krokiem zwiększając o stałą wartość ugięcie wstępne. Doktorant podczas prób w sposób eksperymentalny dobierał również wielkość luzu w rolkach prowadzących, tak aby uniknąć zakleszczania odkształcanego materiału oraz jednocześnie uniemożliwić zbyt duże przemieszczanie się w płaszczyźnie szerokości. Aby zwiększyć łatwość i dokładność pomiaru zadanego ugięcia wstępnego w urządzeniu, Doktorant zastosował własne rozwiązanie pomiarowe, umieszczając w odpowiednio skonstruowanym uchwycie suwmiarkę z odczytem cyfrowym, dzięki której w łatwy i szybki sposób mógł mierzyć wartość wstępnego ugięcia z dziesięciokrotnie wyższą dokładnością w stosunku do rozwiązania standardowego giętarki.

Wyroby po procesie gięcia poddawane były pomiarom, których celem było określenie: rzeczywistej wartości uzyskanego promienia gięcia oraz zniekształceń tego promienia, wymiarów przekroju kształtowanych elementów, a także stanu materiału pod kątem pojawienia się nieciągłości spowodowanych procesem gięcia. Analizę rzeczywistej wartości promienia gięcia Autor wykonał wykorzystując ramię pomiarowe Faro Arm, natomiast niezgodności promienia na długości łuku gięcia analizował wykorzystując skaner 3D Atos Core. Do badań zmian kształtu i wymiarów przekroju poprzecznego wykorzystał również standardowe metody pomiarowe używając suwmiarki, kątomierza analogowego oraz elektronicznego czujnika przemieszczenia współpracującego z autorską przystawką wykonaną w technologii druku 3D z polimeru PLA. Analizę nieciągłości Doktorant przeprowadził wykorzystując badania penetracyjne i tomografię komputerową. Dla dwóch analizowanych kształtów materiału giętego badania doświadczalne uzupełnił analizą teoretyczną przeprowadzoną za pomocą programu komputerowego Simufact Forming 2021, wykorzystując metodę elementów skończonych. Ponadto płaskownik i wszystkie kształtowniki zostały wstępnie poddane próbie trójpunktowego zginania w ułożeniach korelujących z procesem gięcia w giętarcie. Badania zginania przeprowadzono za pomocą maszyny wytrzymałościowej Hungta HT-2042s z oprzyrządowaniem w postaci belki i podpór dostosowanych do kształtów zginanego materiału.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska zawiera 164 strony, łącznie ze spisem treści, streszczeniami w dwóch językach, wykazem ważniejszych oznaczeń oraz bibliografią. Zamieszczono w niej 155 rysunków, 56 tablic oraz przywołano cytowania 127 źródeł obejmujących książki, artykuły w czasopismach zagranicznych i krajowych, źródła internetowe oraz krajowe normy. Pośród cytowanych pozycji 51 to materiały wydane w ciągu ostatnich 10 lat, 23 pozycje to informacje zaczerpnięte z internetu i 5 pozycji to przywołania norm krajowych. Doktorant jest również współautorem dwóch cytowanych pozycji. Rozprawa napisana została w klasycznym układzie podziału treści. Pomijając spis treści, wykaz oznaczeń i streszczenia, pracę podzielono na 8 numerowanych rozdziałów. Pierwszy i ostatni zawierają odpowiednio: wstęp i podsumowanie z wnioskami. Drugi, trzeci i czwarty rozdział zawierają przegląd literaturowy. W rozdziale 5-tym umieszczono tezę, cel i zakres pracy, natomiast w rozdziałach 6 i 7 Autor przedstawił metodykę oraz analizę wyników badań teoretycznych i doświadczalnych wspomnianych wyżej.

Podjęta tematyka badawcza, a w szczególności użyteczny aspekt otrzymanych wyników badań technologicznych pozwalają stwierdzić, że analizowane zagadnienia kwalifikują się do opracowania w formie rozprawy doktorskiej, natomiast ich zakres pozwala przypisać

tematykę pracy do dyscypliny inżynieria mechaniczna w dziedzinie nauk inżyniersko technicznych.

2. Ocena rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Ireneusza Usydusa napisana jest w ogólności poprawnym językiem technicznym oraz jak wspomniano wcześniej w klasycznym układzie odpowiadającym tego typu opracowaniom. Niestety podczas lektury zauważyłem w tekście wiele błędów gramatycznych i stylistycznych, które w przypadku publikacji rozprawy w częściach lub całości powinny być poprawione. Wprowadzenie literaturowe do zagadnień badawczych zamieszczono na 46 stronach w rozdziałach drugim, trzecim i czwartym. W rozdziale 2 Autor omówił metody kształtowania krzywizny w wyrobach metalowych i zawarł w nim teoretyczne podstawy procesu gięcia, podając na początku podział na trzy podstawowe metody: gięcia w prasach, gięcia w walcach poruszających się ruchem obrotowym oraz gięcia za pomocą przeciągania. Informacje zawarte w tym rozdziale dotyczą głównie parametrów technologicznych występujących w procesach, natomiast Autor pominął tu istotne zagadnienie, jakim jest stan naprężeń występujący w materiale podczas procesu zginania. W rozdziale 3 przedstawiono wady i niezgodności wymiarowe przedmiotów giętych, gdzie w sposób wyczerpujący Autor omówił przyczyny powstawania wad i niezgodności wymiarowych, jakie można spotkać podczas gięcia. Ponadto przedstawił metody, dzięki którym można zmniejszyć niezgodności wymiarowe, szczególnie w przypadku zginania rur. Na rys. 3.17 str.26 przedstawiono wyniki analizy MES procesu gięcia rury o przekroju kołowym z użyciem rolek o różnym kształcie zarysu tworzącej. Pokazano rozkłady bliżej nieokreślonego parametru na powierzchni giętego profilu – opis legendy jest nieczytelny, natomiast w tekście skomentowano jedynie tendencje do owalizacji przekroju poprzecznego rury. Rozdział 4 poświęcony został kształtowaniu profili w giętarkach rolkowych i tym samym stanowi najważniejszą część wprowadzenia teoretycznego do badań zrealizowanych w ramach przygotowania rozprawy. W treści tego rozdziału znalazłem kilka błędów, na które chciałbym zwrócić uwagę Doktoranta. Na str. 31 czytamy: „W giętarkach trójrolkowych jest możliwość kształtowania dowolnego materiału: ...”, nie należy używać tu słowa „dowolnego”, gdyż dotyczy to tylko materiałów charakteryzujących się minimalną wymaganą do kształtowania plastycznością. Na str. 35 w ostatnim wierszu powinno być odwołanie do rys. 4.7b, a nie 4.7a. Na str. 37 w pierwszym wierszu czytamy: „...analizę sił zginających zachodzących podczas gięcia...”, siły występują, a nie „zachodzą” w różnych procesach. Na rys. 4.12 na str. 41 grubość materiału powinna być oznaczona literą „g”, nie literą „t”, gdyż w opisach i wzorach Autor konsekwentnie używa litery „g” do oznaczenia grubości giętego materiału. Na str. 52 czytamy: „...stosunkowo grubych ściankach...” oraz „...stosunkowo duży.”, sformułowania takie są nieprecyzyjne i nie powinny być używane w pracy naukowej bez podania wielkości odniesienia. Również na str. 52 Autor napisał: „...pozwalają na ustawienie maszyny na plecach i gięcie w poziomie.”, co oznacza ustawienie maszyny „na plecach”?

W rozdziale piątym Doktorant sformułował cel, tezę oraz bardzo krótko opisał zakres realizowanych badań. W mojej opinii treść tego, zajmującego jedynie dwie trzecie strony, rozdziału jest dyskusyjna. Cel pracy określono jako: analizę procesu gięcia na zimno profili stalowych w giętarcie trójrolkowej oraz określenie parametrów procesu i ich wpływu na jego przebieg i końcową jakość wyrobu. Natomiast postawiona teza pracy brzmi: „Określenie wpływu parametrów na przebieg procesu gięcia profili w giętarcie trójrolkowej oraz identyfikacja zjawisk ograniczających umożliwi prawidłowe projektowanie procesu i uzyskanie wyrobów o założonej jakości.” W podanym celu pracy moją wątpliwość budzi sformułowanie „określenie parametrów procesu”, gdyż analizowany proces jest dobrze znany

i opisany, zatem jaki jest powód prowadzenia badań w celu określenia jego parametrów? Natomiast teza pracy została zapisana w sposób zbyt ogólny i brakuje w niej dopełnień. Czytamy w niej: „Określenie wpływu parametrów na przebieg procesu gięcia...”, wpływ jakich konkretnie parametrów Autor chce określić, gdyż można tu myśleć o parametrach typowo geometrycznych urządzenia, jak ustawienie rolek, ich wielkość i kształt, kinematycznych: prędkość obrotowa rolek i będąca pochodną prędkość liniowa kształtowanego materiału, parametry mechaniczne odkształcanego materiału, czy też kształt i wymiary giętego materiału. Z całą pewnością Autor w ramach pracy nie przeprowadził analizy w tak szerokim zakresie parametrów, zatem teza pracy w tej części powinna być doprecyzowana. Podobnie druga część tezy pracy: „identyfikacja zjawisk ograniczających” w mojej opinii również powinna być doprecyzowana. Czytelnik pracy nie wie, na tym etapie zapoznawania się z pracą, o jakich zjawiskach i co konkretnie ograniczających mówi Doktorant. Niestety niewiele wyjaśnia powyższe wątpliwości, również opisany w bardzo skrótowy sposób, zakres badań niezbędnych do zrealizowania celu pracy i udowodnienia postawionej tezy.

W rozdziale szóstym pracy Doktorant przedstawił stanowisko doświadczalne, metody pomiarowe zastosowane w badaniach oraz narzędzia obliczeniowe, które wykorzystał w analizie wyników. Rozdział ten obejmuje trzy podrozdziały, w których znajdują się kolejno informacje na temat: trójrolkowej giętarki za pomocą której wykonano wszystkie próby gięcia, procedury przeprowadzenia testów trójpunktowego zginania z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej, metodyki pomiaru ugięcia wstępnego w giętarcie, pomiarów rzeczywistej wartości promienia wyginanych produktów oraz pomiaru zniekształceń, metodyki prowadzenia badań nieniszczących, materiału zastosowanego do badań oraz warunków numerycznych symulacji wybranych procesów gięcia za pomocą MES. Informacje w tym rozdziale podano w sposób zwarty i rzeczowy, dzięki czemu bardzo dobrze zapoznają one czytelnika z zastosowaną metodyką badawczą.

Rozdział siódmy obejmujący 80 stron pracy zawiera wyniki i analizę przeprowadzonych przez Doktoranta badań. Otwiera go podrozdział 7.1 zatytułowany „Analiza teoretyczna procesu”, który nie występuje w spisie treści, a w którym Autor przedstawił schematyczny rysunek gięcia płaskownika za pomocą trzech rolek oraz teoretyczne (wynikające z geometrii procesu) zależności służące do obliczenia promienia krzywizny wyginanego płaskownika. W opisie oznaczeń wzoru 7.1 podano, że „ a ” jest odległością pomiędzy osiami dolnych rolek, gdy w rzeczywistości jest to połowa tej odległości – wynika to zarówno z rysunku 7.1, jak i wzoru 7.1. W mojej opinii niniejszy podrozdział powinien znajdować się w rozdziale szóstym, jako dodatkowy podrozdział lub przypisany do podrozdziału 6.1. W kolejnych podrozdziałach Doktorant przedstawił wyniki i analizę przeprowadzonych badań doświadczalno-teoretycznych dla poszczególnych kształtów, rodzajów i wymiarów wyrobów giętych: płaskownika o wymiarach 50x5 mm, kątownika zimnogiętego o wymiarach 25x25x1,8 mm z półką pionową ustawioną do wewnątrz i na zewnątrz tworzonego łuku, kątownika gorącowałcowanego o wymiarach 25x25x3 mm również z półką pionową ustawioną do wewnątrz i na zewnątrz kształtowanego łuku, kształtownika o przekroju kwadratowym o wymiarach 20x20x1,5 mm oraz kształtownika o przekroju prostokątnym o wymiarach 30x18x1,5 mm przy ustawieniu szerokości 18 mm i po odwróceniu o 90°, przy szerokości 30 mm. Dla każdej pozycji z wymienionego asortymentu wyniki wraz z analizą zamieszczono w oddzielnych podrozdziałach utrzymując ich stały układ, w niektórych przypadkach uzupełniony o wyniki dodatkowych badań. W każdym z podrozdziałów zamieszczono wyniki prób zginania trójpunktowego za pomocą maszyny wytrzymałościowej, podając wykres zależności siły nacisku od ugięcia, widok materiału po teście oraz określono zakres ugięcia sprężystego początkowego i powrotnego. Następnie dla przyjętych schematów (różnych dla

poszczególnych pozycji wymienionego asortymentu) gięcia jedno i wielostopniowego określono zależności promienia krzywizny łuku od ugięcia wstępnego. Dokonano porównania promienia krzywizny łuku otrzymanego podczas gięcia jednostopniowego i wielostopniowego przy jednakowym całkowitym ugięciu wstępnym. Zbadano wpływ gięcia korekcyjnego poprzez powtórzenie operacji zginania przy takim samym ugięciu, ale odwrotnym kierunku podawania materiału i dla uzyskanych kształtów dokonano analizy niezgodności promienia krzywizny wzdłuż kształtowanego łuku. Wyznaczono odchylenie standardowe z pomiarów promienia krzywizny dla wybranych wartości ugięcia wstępnego i przedstawiono graficznie zależność pomiędzy tymi wielkościami. W kolejnym kroku obliczono wartości teoretyczne promienia gięcia dla danych wartości ugięcia całkowitego, a na tej podstawie dokonano obliczenia wartości korekcji ugięcia, które powinny zapewnić otrzymanie promienia krzywizny o zaplanowanej wartości. Z całą pewnością jest to bardzo istotny element pracy z technologicznego punktu widzenia, gdyż umożliwia dla danej giętarki i określonego kształtu i wymiarów wyrobu dokonać prawidłowych ustawień wartości ugięcia wstępnego, bez konieczności wielokrotnego powtarzania prób wstępnych. Każdy podrozdział zakończony jest zestawieniem w formie wykresów słupkowych doświadczalnych i teoretycznych promieni krzywizny łuku uzyskanego dla danego ugięcia wstępnego.

W dwóch analizowanych przypadkach Doktorant wsparł wyniki doświadczalne i analizę teoretyczną wynikami symulacji numerycznych procesu gięcia: dla płaskownika oraz dla zimnogiętego kątownika o wymiarach 25x25x1,8 mm z półką ustawioną do wnętrza kształtowanego łuku. Zdecydowanie wyższą zgodność wyników symulacji MES w zakresie prognozowania promienia gięcia uzyskał dla kątownika, niż dla płaskownika. Niestety nie podjął próby wyjaśnienia tych rozbieżności.

Istotnym elementem pracy jest wprowadzenie analizy zniekształceń materiału wynikających z warunków gięcia, którą Doktorant przeprowadził dla giętych kątowników i kształtowników zamkniętych. Wielkości zniekształceń podał tabelarycznie oraz graficznie dla odpowiednich wartości całkowitego ugięcia wstępnego. Jest to również bardzo istotna informacja technologiczna, dzięki której można oszacować graniczne wartości ugięcia dla danej giętarki i zarysu przekroju poprzecznego giętego materiału, które zapewnią uzyskanie wyrobu po obróbce w granicach żądanych przez odnośne normy lub wymagania odbiorcy.

Również ważnym aspektem, który Doktorant poddał analizie w swoich badaniach jest możliwość utraty ciągłości materiału na skutek gięcia. Dla giętych kształtowników zamkniętych przeprowadzono badania nieniszczące za pomocą penetrantów oraz tomografii komputerowej i stwierdzono, że w zakresie zastosowanych parametrów procesów kształtowania nie dochodzi do pęknięcia odkształcanego materiału.

Podczas lektury rozdziału siódmego nasunęły mi się pewne spostrzeżenia i uwagi dotyczące zaprezentowanych wyników badań i ich analizy, o których wyjaśnienie proszę Doktoranta:

- str. 78 – gięcie płaskownika 50x5 mm w procesie wielostopniowym – podano, że przeprowadzono go w sekwencji ugięć cząstkowych 3 x 5 mm, wcześniej podano, że ugięcie 5 mm jest zbyt małe, aby wyjść poza zakres sprężysty, czy zatem gięcie nie było realizowane w rzeczywistości w sekwencji ugięć: 10 mm + 5 mm? Podobny stan występuje np. dla profilu zamkniętego 30x18mm przy ustawieniu szerokości 18 mm.
- str. 80 - do czego ma służyć w warunkach badań lub praktycznym wykorzystaniu zależność średniego odchylenia standardowego z pomiarów promienia krzywizny dla różnych wartości ugięcia? Wyznaczona została dla wszystkich badanych materiałów giętych.
- str. 80 – co jest przyczyną powstawania różnych krzywizn płaskownika przy takim samym wstępnym ugięciu dla $U = 10$ mm (duże odchylenie standardowe)?

- str. 83 – Autor nie odniósł się w analizie w żaden sposób do przyczyny pojawienia się tak dużej różnicy pomiędzy wynikami doświadczalnymi, a symulacją MES dla ugięcia 10 mm
- str. 92 – tabela 7.13 kolumna „teoretyczny promień gięcia” – jak interpretować te dane (niektóre wartości obliczone promienia teoretycznego są większe od promienia zmierzonego doświadczalnie) w świetle stwierdzenia na stronie 74 pod wzorem 7.3?
- str. 102 – tabela 7.20 i rys. 7.29 analogiczne pytanie jak dla danych ze strony 92?
- str. 105 – tab. 7.21 dane dla ugięcia 3 mm obarczone są dużym błędem, czy należało poddawać je analizie skoro to ugięcie powoduje zginanie w zakresie sprężystym?
- str. 111 – tabela 7.26 i rys. 7.37 analogiczne pytanie jak dla danych ze strony 92?
- str. 120 – tabela 7.32 i rys. 7.45 analogiczne pytanie jak dla danych ze strony 92?
- str. 131 – tabela 7.38 i rys. 7.59 analogiczne pytanie jak dla danych ze strony 92?
- str. 133, 10 wiersz od dołu strony – dlaczego dla profilu zamkniętego 30x18 przy ustawieniu szerokości 18 mm próby rozpoczęto od ugięcia 15 mm, a nie jak we wszystkich wcześniejszych przypadkach od 5 mm?
- str. 134, tab. 7.39 – z czego zdaniem Autora wynika tak duże odchylenie standardowe w badaniach dla ugięcia 3 mm, czy wyniki pomiaru promienia z pierwszej serii powinny być uznane za prawdziwe, skoro są blisko pięciokrotnie mniejsze niż wynik z serii drugiej?
- str. 141, pierwsze zdanie drugiego akapitu podrozdziału 7.6.1.3 – Czym Autor tłumaczy tak duży błąd i czy wynik można uznać za poprawny?
- W jakim celu prowadzono próby zginania trójpunktowego przy pomocy maszyny wytrzymałościowej i czy ich wyniki w jakikolwiek sposób wykorzystano przy badaniach praktycznych?
- Dlaczego symulacje MES ograniczono tylko do dwóch analizowanych kształtów materiałów giętych, czy w tym świetle jest prawdziwy wniosek zamieszczony w drugim zdaniu pierwszego podpunktu na stronie 155?
- Przyjęty przez Autora asortyment kształtów zginanych materiałów nie pozwala na dokonanie uogólnienia wyników badań, pojawia się zatem pytanie dlaczego Autor nie wykonał badań dla jednego wybranego kształtu zmieniając np. średnicę rolek, co umożliwiłoby analizę jej wpływu na promień gięcia w warunkach rzeczywistych. Można było również przyjąć materiał o takim samym kształcie, ale różnej wysokości, co pozwoliłoby na budowę kolejnej grupy zależności praktycznych promienia gięcia od grubości giętego materiału.
- Czy Autor może jednoznacznie stwierdzić, że w przeprowadzonych badaniach wykluczony został wpływ początkowego stanu materiału (naprężeń wewnętrznych) na uzyskiwany dla danego ugięcia promień zginania?

Pracę zamyka rozdział siódmy, w którym Autor dokonał podsumowania przeprowadzonych badań oraz podał pewne, wynikające z poczynionych obserwacji wnioski. Naszkicował również dalsze kierunki badań, które powinny być prowadzone w analizowanym obszarze. Do rozdziału tego nie wnoszę uwag, za wyjątkiem wspomnianego wcześniej, w mojej opinii zbyt daleko idącego, wniosku dotyczącego uniwersalności programu pracującego w oparciu o MES.

Pomimo uwag i pytań, które sformułowałem powyżej, pracę w całości oceniam pozytywnie, jako rozwiązanie istotnego problemu technologicznego, polegającego na określeniu zależności pomiędzy uzyskiwanym promieniem krzywizny giętego wyrobu, a ugięciem wstępnym oraz określeniu dla badanego materiału i urządzenia wartości granicznych ugięcia, które gwarantują poprawne prowadzenie procesu kształtowania wyrobu.

3. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę tematykę rozprawy doktorskiej, jej znaczenie poznawcze i użyteczne oraz umiejętności Autora, który:

- wykazał opanowanie warsztatu naukowego i technicznego w zakresie prowadzenia badań doświadczalnych oraz teoretycznych,
- sformułował i rozwiązał samodzielnie określony problem technologiczny oraz zastosował do jego rozwiązania właściwie dobrane metody badawcze,
- na podstawie badań doświadczalnych i analizy teoretycznej uzupełnił wiedzę technologiczną w zakresie wpływu wybranych parametrów procesu gięcia na wartość promienia krzywizny kształtowanego łuku oraz zniekształcenia wyrobu,
- w przedstawionej rozprawie doktorskiej wykazał ogólną wiedzę w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna,

stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska spełnia wymagania określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Ireneusza Usydusa do publicznej obrony tej rozprawy.

Marcin Knapiński

