

Dr hab. inż. Tomasz Bulzak, prof. uczelni

Lublin, 13.08.2024

Politechnika Lubelska

Wydział Mechaniczny

Katedra Obróbki Plastycznej Metali

e-mail: t.bulzak@pollub.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. **Wojciecha Weilera**

pt. „**Wpływ małosygnalnego skręcania oscylacyjnego z zastosowaniem impulsów prądowych na odkształcalność i mikrostrukturę mosiądzu CuZn30**” – wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej, zgodnie z pismem W10/D/42/2024 z dnia 27 maja 2024 r.

1. Ocena aktualności tematu rozprawy doktorskiej

Realizacja badań w zakresie oceny zachowania materiałów metalowych kształtowanych plastycznie przy złożonych drogach odkształcenia oraz wspomaganym przepływem prądu elektrycznego jest zagadnieniem aktualnym i wpisuje się swoją tematyką we współczesne trendy prowadzonych badań naukowych. Wpływ historii odkształcenia ma bardzo istotne znaczenie w kontekście własności materiałów, oznacza to, że ten sam materiał kształtowany przy różnych drogach odkształcenia może wykazywać różne wartości naprężeń uplastyczniających. Poznanie wpływu historii odkształcenia na własności materiałów metalowych jest szczególnie istotne przy realizacji procesów dużych odkształceń plastycznych (z ang. *several plastic deformation, SPD*). Należy w tym miejscu podkreślić, że obecnie metody SPD są najszybciej rozwijającą się grupą procesów obróbki plastycznej. W związku z tym rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Weilera podejmuje aktualne problemy badawcze, zarówno o charakterze podstawowym, jak i aplikacyjnym, których nurt wpisuje się w obszar dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn (inżynieria mechaniczna) w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Weilera została przygotowana pod kierownictwem dr hab. inż. Zbigniewa Zimniaka, prof. uczelni na Wydziale

Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Rozprawa doktorska została napisana w języku polskim i podzielona na 14 rozdziałów. Całość pracy obejmuje 198 stron maszynopisu, w których zawarto przegląd literatury, tezę i cel pracy, metodykę badań, wyniki przeprowadzonych badań, wnioski oraz spis literatury. Struktura pracy jest właściwa, chociaż wyniki badań własnych oraz opis zaprojektowanego stanowiska badawczego stanowią jedynie 44% objętości całej pracy. W pracy zacytowano 213 pozycji literaturowych, z czego zaledwie 29% stanowią pozycje z ubiegłego wieku, co potwierdza aktualność tematyki prowadzonych badań. W 16 pozycjach literaturowych Doktorant występuje jako współautor, z czego 9 pozycji to patenty, a pozostałe pozycje zostały wydane w krajowych czasopismach nieindeksowanych w JCR. Na uwagę zasługuje fakt, że Doktorant jest współautorem rozwiązania konstrukcyjnego plastometru skrętnego, który był wykorzystany do realizacji badań przedstawionych w recenzowanej dysertacji.

Doktorant w swojej pracy doktorskiej podjął się trudnego i złożonego zagadnienia, jakim było określenie wpływu zastosowania impulsów prądowych w małocyklowym skręcaniu oscylacyjnym na odkształcalność i mikrostrukturę mosiądzu CuZn30. Doktorant słusznie przeprowadził również badania dotyczące skręcania monotonicznego oraz skręcania małocyklowego bez przepływu prądu. Przyjęcie takiego zakresu pracy daje pełny obraz wpływu poszczególnych zmiennych procesu kształtowania plastycznego na odkształcalność oraz mikrostrukturę materiału przyjętego do badań. Autor przyjął w pracy, że badanym materiałem będzie mosiądz CuZn30 i pisze, że *„Taki wybór nie był przypadkowy. Jak wspomniano wyżej, CuZn30 jest powszechnie stosowany na łuski nabojoyowe, zaś autor niniejszej dysertacji jest ekspertem w zakresie broni palnej. Od 21 lat jest dziennikarzem w prasie specjalistycznej, zajmującej się bronią palną, amunicją i strzelectwem – autorem niemal tysiąca artykułów publikowanych w Polsce i za granicą, wielokrotnie cytowanym w literaturze tematu. Jest aktywnym strzelcem sportowym z 25-letnim stażem, instruktorem strzelectwa sportowego i obronnego oraz sędzią strzelectwa sportowego klasy państwowej”*. Z naukowego punktu widzenia trudno jest uznać zamiłowanie do broni palnej za wystarczający powód przyjęcia do badań materiału, z którego wykonuje się łuski nabojoyowe. Ponadto zamieszczanie przez Doktoranta swojej autobiografii w

rozprawie doktorskiej nie wnosi niczego istotnego do tej pracy. Informacje te powinny zostać przedstawione podczas obrony pracy doktorskiej jako sylwetka Doktoranta.

Przegląd literatury został przedstawiony w rozdziale drugim oraz trzecim. W rozdziale drugim przedstawiono przegląd literatury w zakresie wybranych metod dużych odkształceń plastycznych. W tej części przeglądu literatury Autor skupił się na najbardziej popularnych metodach dużych odkształceń plastycznych. W rozdziale drugim możemy również znaleźć informacje na temat badań plastometrycznych z zastosowaniem złożonych dróg odkształcenia. W rozdziale tym zabrakło mi bardziej szczegółowego opisu samej próby skręcania, która jest podstawową próbą wykorzystywaną w przeprowadzonych badaniach. Zastosowanie przepływu prądu elektrycznego podczas odkształcania plastycznego zostało poruszone w rozdziale trzecim rozprawy doktorskiej. W przeglądzie literatury zostały zamieszczone rysunki, w których opisy są w języku angielskim, natomiast w tekście Autor odwołuje się do tych rysunków, używając polskich odpowiedników. Ze względu na fakt, że praca jest napisana w języku polskim, opisy na rysunkach również powinny być w tym języku.

W rozdziale czwartym Doktorant w sposób syntetyczny przedstawia podsumowanie aktualnego stanu wiedzy w zakresie dużych odkształceń plastycznych, badań plastometrycznych oraz procesów kształtowania plastycznego wspomaganych prądem elektrycznym. Podsumowanie przeglądu literatury stało się podstawą do sformułowania celu, tezy oraz zakresu pracy doktorskiej, które zostały zawarte w rozdziale piątym.

Celem pracy jest poznanie zjawisk zachodzących podczas małocyklowego, oscylacyjnego skręcania mosiądzu CuZn30 z jednoczesnym przepływem impulsów wysokoprądowych i bez nich, dla różnych stanów odkształcenia i naprężania, w szerokim zakresie odkształceń i prędkości odkształcenia w temperaturze pokojowej i podwyższonej. Na podstawie przyjętego celu pracy doktorskiej, Doktorant sformułował następującą tezę pracy: *„dzięki odpowiednio dobranemu schematowi małocyklowego skręcania oscylacyjnego mosiądzu jednofazowego CuZn30 i zastosowaniu przepływu impulsów prądowych, można doprowadzić do świadomego i kontrolowanego sterowania przebiegami naprężenia uplastyczniającego w funkcji odkształcenia”*.

W celu potwierdzenia postawionej tezy Doktorant zaplanował szczegółowy i obszerny zakres prac badawczych, który obejmuje:

1. Zaprojektowanie, skonstruowanie i zbudowanie plastometru skręcającego.
2. Rozbudowa plastometru o układ do aplikacji impulsów prądowych.
3. Wyznaczenie wykresów naprężenie–odkształcenie w temperaturze pokojowej z różnymi parametrami odkształcania.
4. Wyznaczenie wykresów naprężenie–odkształcenie w temperaturze 600 °C z różnymi parametrami odkształcania.
5. Wyznaczenie wykresów naprężenie–odkształcenie w temperaturze pokojowej z aplikacją impulsów prądowych o różnych parametrach.
6. Badania metalograficzne na mikroskopie optycznym i z użyciem systemu do dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych (electron backscatter diffraction – EBSD).

Badania własne rozpoczynają się w rozdziale szóstym, w którym Doktorant przedstawił szczegółową charakterystykę materiału wybranego do badań. W sposób wyczerpujący przedstawił sposób przygotowania materiału do badań plastometrycznych, kształt i wymiary próbek do skręcania oraz mikrostrukturę wyjściową materiału do badań plastometrycznych. W rozdziale siódmym Doktorant bardzo szczegółowo opisał konstrukcję i zasadę działania zaprojektowanego plastometru skrętnego do realizacji założonych prac badawczych. W dalszej części pracy przedstawiono metodykę prowadzonych badań plastometrycznych oraz badań metalograficznych wraz z zestawieniem wszystkich zmiennych uwzględnionych w zaplanowanym eksperymencie. Główne wyniki badań zostały zawarte w rozdziałach 9-11. Uzyskane wyniki badań plastometrycznych zostały przedstawione w formie wykresów obrazujących naprężenie uplastyczniające w funkcji odkształcenia dla zmiennych warunków amplitudy odkształcenia, prędkości odkształcenia, temperatury oraz warunków aplikacji impulsów prądowych. Wyniki badań metalograficznych pokazano w formie obrazów mikrostruktury z oznaczoną średnią wielkością ziarna. Uzyskane wyniki badań Doktorant opisuje wyczerpująco, a ich analiza dostarcza cennych informacji zarówno o charakterze poznawczym, jak i utylitarnym.

Oceniając część rozprawy doktorskiej dotyczącą badań własnych, należy stwierdzić, że Doktorant wykazał się wiedzą oraz umiejętnościami praktycznymi w zakresie planowania i realizacji badań naukowych. Znaczna ilość przeprowadzonych badań oraz uzyskanych wyników były niewątpliwie bardzo czasochłonne. Uzyskane wyniki mają dużą wartość poznawczą oraz potencjał do praktycznych zastosowań w przemyśle. Przeprowadzone badania oraz uzyskane wyniki potwierdzają, osiągnięcie założonego celu i tezy pracy, że zastawanie małowyprężnego skręcania oscylacyjnego wspomaganego przepływem impulsów prądowych pozwala w sposób kontrolowany sterować wartością naprężania uplastyczniającego w funkcji odkształcenia.

Praca doktorska zakończona jest podsumowaniem przeprowadzonych badań oraz wnioskami poznawczymi i użytkowymi. Doktorant zrealizował bardzo szeroki zakres zaplanowanych badań, w wyniku których sformułował wnioski poznawcze w ilości 30 oraz wnioski użytkowe w ilości 8. W niektórych przypadkach sformułowane wnioski mają bardziej charakter obserwacji aniżeli wniosków. Warto jednak podkreślić, że Doktorant w ostatnim podrozdziale wskazał dalsze kierunki możliwych do realizacji badań. Potwierdza to dojrzałość i gotowość Doktoranta do kontynuowania podjętej przez Niego tematyki badawczej.

Do największych osiągnięć Doktoranta należy niewątpliwie zaliczyć:

- opracowanie konstrukcji unikatowego plastometru skrętnego posiadającego możliwość aplikacji impulsów prądowych do badanej próbki,
- określenie wpływu małowyprężnego skręcania przy różnych amplitudach odkształcenia na wartość naprężeń uplastyczniających oraz odkształceń granicznych,
- określenie wpływu impulsów prądowych podczas skręcania na wartość naprężeń uplastyczniających oraz odkształceń granicznych,
- wykazanie zależności pomiędzy czasem trwania impulsu prądowego t_d i okresem ich podawania t_p a wartościami naprężania uplastyczniającego i wartościami odkształceń granicznych.
- określenie wpływu na mikrostrukturę mosiądzu CuZn30 parametrów procesu skręcania i parametrów podawanych impulsów prądowych.

Po szczegółowym zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej mam kilka uwag, które należy poddać dyskusji w trakcie publicznej obrony pracy doktorskiej. Uwagi te zostały przytoczone poniżej.

1. Wzór 8.1 użyty do wyznaczenia wartości naprężeń uplastyczniających zawiera w swojej formule współczynnik umocnienia n oraz współczynniki czułości na prędkość odkształcenia m . Niestety Doktorant nie przedstawia wartości tych współczynników oraz sposobu, w jaki zostały one wyznaczone.
2. Wzory 8.1 i 8.2 zawierają w swojej formule wartość promienia rzeczywistego próbki r_{rz} . Każdy promień próbki jest rzeczywisty. W literaturze specjalistycznej stosowane jest pojęcie promienia zastępczego r_z próbki, który może przyjmować różne wartości w odniesieniu do promienia maksymalnego r_{max} próbki. Czy w przeprowadzonych obliczeniach wykorzystano promień maksymalny próbki jako promień zastępczy?
3. Dlaczego wzory 8.1 i 8.2 wykorzystane do obliczeń naprężenia uplastyczniającego i odkształcenia zastępczego różnią się od wzorów, które są przytaczane w literaturze specjalistycznej [1, 2]?
4. Doktorant stwierdza, że zgodnie z literaturą tematu najbardziej reprezentatywny dla badań mikrostrukturalnych będzie obszar leżący w odległości $2/3$ długości promienia od osi próbki. Niestety Doktorant nie podaje żadnych źródeł literaturowych, które to potwierdzają. Czy wartości naprężeń uplastyczniających oraz odkształceń zastępczych również były wyznaczone dla promienia zastępczego r_z , który wynosił $2/3$ długości promienia próbki?
5. Jaką zależność matematyczną wykorzystano do wyznaczenia wartości prędkości odkształcenia w teście skręcania?
6. Czy zasadnym jest sumowanie wartości odkształceń zastępczych z pojedynczego cyklu odkształcenia (odkształcenie jednostkowe) w celu wyznaczenia odkształcenia granicznego? Dlaczego wykresów naprężenie–odkształcenie nie przedstawiono w formie pętli histerezy? Czy odkształceń granicznych nie można przedstawić w formie liczby cykli do zerwania próbki przy danej wartości amplitudy odkształcenia?

7. Dlaczego w pracy nie wspomniano o modelu umocnienia kinematycznego materiałów, który może opisywać zachowanie materiałów podczas cyklicznego odkształcania?

Poniżej przedstawiam uwagi szczegółowe, które w żaden sposób nie obniżają poziomu merytorycznego pracy doktorskiej. Jednak unikanie tego typu błędów będzie zdecydowanie pomocne w redagowaniu kolejnych prac naukowych. Uwagi szczegółowe:

- str. 25, brak oznaczenia kąta na rys. 2.13, który występuje w tekście,
- używanie potocznego słownictwa np. *raptem*,
- str. 38, powtórzenia np. „...*grzanie próbki do temperatury do 1500 °C*”,
- rys. 2.39, brak opisów osi na wykresie,
- nieczytelne opisy legendy na rysunkach, np. str. 87-89,
- błędy w oznaczeniach rysunków, rys. 6.2 na str. 93 powinien być oznaczony jako rys. 7.2,
- rys. 6.7, brak osi symetrii na rysunku technicznym,
- str. 97, Autor używa niewłaściwego nazewnictwa np. „...*za pomocą elektrycznych silników obrabiarkowych*...”, wystarczyłoby za pomocą silników elektrycznych,
- str. 104, w opisie wzorów 8.1 i 8.2 brakuje jednostek,
- rys. 9.1-9.3 przedstawiają pojedyncze krzywe naprężenie – odkształcenie i są zbędne, gdyż nie wnoszą żadnej wartości do pracy. Zestawienie tych trzech krzywych na rys. 9.4 jest w zupełności wystarczające i daje lepszy obraz różnic pomiędzy poszczególnymi krzywymi.

3. Podsumowanie

Przeprowadzone przez Doktoranta badania mają bardzo duże znaczenie poznawcze oraz potencjał wdrożeniowy w zakresie szybko rozwijających się metod dużych odkształceń plastycznych. Po zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej stwierdzam, że Doktorant:

- wykazał opanowanie warsztatu naukowego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, realizując badania plastometryczne, a także wykazał się wiedzą z zakresu inżynierii materiałowej realizując badania metalograficzne,

- potrafi sformułować cel i tezę badań, i co najważniejsze określić metodykę badań pozwalającą uzyskać zakładane cele oraz potwierdzić postawioną tezę,
- cechuje się zdolnościami konstrukcyjnymi, które wykorzystał do opracowania aparatury badawczej.

W związku z powyższym stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji praca doktorska pt. „Wpływ małowyprężonego skręcania oscylacyjnego z zastosowaniem impulsów prądowych na odkształcalność i mikrostrukturę mosiądzu CuZn30” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w myśl ustawy z dnia 20 lipca 2018 (Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.) i w związku z tym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Wojciecha Weilera do publicznej obrony.

4. Literatura

- [1] Gusel L.: Multi regression analysis of flow curve obtained by torsion test. Advanced Materials Research, 2013, vol. 856, 159-163.
- [2] Pełczyński T.: O krzywych umocnienia. Obróbka plastyczna, 1975, Tom XIV, Zeszyt 1, s. 5-34.

Tomasz
Bulwicki