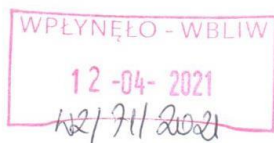


Prof. dr hab. inż. Henryk Zobel
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej
Instytut Dróg i Mostów



Warszawa, dn. 10.04.2021 r.

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Marcinczaka

pt. „Zmiana właściwości wytrzymałościowych stali i układu naprężeń własnych po formowaniu na zimno dwuteowych kształowników walcowych ze stali S460M”

Recenzję opracowano na zlecenie Prorektora ds. Nauki Politechniki Wrocławskiej prof. dr hab. inż. Andrzeja Ożyhara – umowa o dzieło nr 12/30/PRR/2021 z dnia 10 marca 2021 roku oraz Uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport w Politechnice Wrocławskiej nr 18/03/RDND06/2021-2024 z dnia 24 lutego 2021 roku.

1. Charakterystyka i tematyka pracy

Opiniowana praca doktorska składa się z 8-miu rozdziałów merytorycznych wykazu literatury (rozdział 9) i streszczeń (rozdział 10). Bibliografia zawiera cytowane 93wiedzy pozycje, w tym 11 to normy. W 5-ciu z nich doktorant jest autorem lub współautorem. Całkowita objętość rozprawy wynosi 209 stron.

Rozprawa ma przede wszystkim charakter eksperymentalny, choć część numeryczna stanowi także jej ważną część. Opracowanie dotyczy bardzo ważnego, ciągle zbadanego w zbyt małym stopniu zagadnienia zmiany właściwości wytrzymałościowych i układu naprężeń własnych w stalowych elementach giętych na zimno. W rozprawie analizowano te problemy na przykładzie dwuteowych kształowników walcowanych wykonanych ze stali S460M. Rozprawa wypełnia swego rodzaju pustkę w wiedzy na temat zachowania się elementów stalowych giętych na zimno. Należy dodać, że pierwsze tego typu badania wykonano dopiero w 2005 roku i to dla stali S235 i S355.

Poszczególne rozdziały rozprawy zawierają:

- We Wstępie Autor przedstawił swoją motywację, która skłoniła go do zajęcia się wspomnianym wyżej problemami oraz zaprezentował w skrócie przedmiot, zakres i cel opracowania. W tym rozdziale są też podane oznaczenia przyjęte w pracy.
- W rozdziale 2 podsumowano aktualny stan wiedzy tj.:
 - Omówiono proces obróbki plastycznej metali i zjawiska jakie są z tym związane ,
 - Przedstawiono podstawy teoretyczne opisujące proces zginania sprężysto – plastycznego belek zarówno prostych jak i zakrzywionych,
 - Opisano w skrócie technologie formowania (gięcia) elementów ze stali,
 - Przekazano informacje na temat naprężeń własnych powstających w procesie produkcji elementów stalowych,
 - Pokazano w dużym skrócie zalety nowego rodzaju stali typu HISTAR,
 - Omówiono szeroko wyniki przeprowadzonych w innych, zagranicznych ośrodkach badań i analiz stalowych elementów odkształconych na zimno, w tym badania właściwości mechanicznych i badania naprężeń własnych, a także ich uwzględnianie w normach.
- W rozdziale 3 przedstawiono cele naukowe rozprawy.

- Rozdział 4 poświęcono opisowi badań materiałowych w dwuteowych kształtownikach walcowanych wykonanych ze stali 460M.
- W rozdziale 5 przedstawiono sposoby wyznaczania i analizę naprężeń własnych w kształtownikach giętych na zimno.
- Rozdział 6 jest poświęcony procesowi nadawania krzywizny elementowi stalowego dźwigara łukowego stosowanego w mostach typu network arch.
- W rozdziale 7 opisano przebieg procesu nadawania przeciwstrzałki (wstępnego wygięcia) w stalowej belce mostowej (dwuteownik o wysokości 1100 mm) .
- W rozdziale 8 przedstawiono podsumowanie i wnioski końcowe wraz z opisem potencjalnych kierunków przyszłych badań.
- Rozdział 9 to spis literatury.
- Rozdział 10 zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim.

2. Ocena merytoryczna pracy

Doktorant zrealizował obszerny program własnych badań laboratoryjnych i symulacji komputerowych. W rozprawie przedstawiono zagadnienia związane ze zmianą właściwości wytrzymałościowych stali S460M i układu naprężeń własnych generowanych podczas formowania na zimno dwuteowników walcowanych. Opisano przygotowania, przebieg oraz wyniki badań. Obejmowały one badania rozciągania, ściskania oraz udarności w stali zarówno w stanie „normalnym” jak i po poddaniu procesowi normalizacji (wyżarzanie rekrytalizujące w temperaturze 890°C) w celu poprawy ciągliwości.

Przeprowadzono, w warunkach laboratoryjnych, dwa procesy gięcia na zimno dwiema różnymi metodami zarówno względem słabej (gięcie punktowe) jak i silnej osi (gięcie rolkowe). Weryfikację wyników procesów gięcia przeprowadzono opracowując modele numeryczne bazujące na metodzie elementów skończonych wykorzystując oprogramowanie Abaqus.

Doktorant udowodnił, że istnieje duża zależność właściwości mechanicznych stali w stosunku do DCF (stopnia odkształcenia stali na zimno) od kierunku badania próbek (rozciąganie lub ściskanie) oraz od miejsca pobrania próbek z przekroju poprzecznego dwuteownika.

Za interesujący wynik badań należy uznać fakt, że w wyniku procesu gięcia dwuteownika w pasie ściskanym (dolnym), w jego skrajnych częściach granica plastyczności maleje aż o 43 % a w środkowych rośnie do nawet 18%. Z kolei w pasie rozciągającym (górnym) następuje obniżenie granicy plastyczności w jego skrajnych częściach o 18%.

Ważny, szczególnie z technologicznego punktu widzenia, jest udowodniony fakt, że rozkłady naprężeń własnych powstałych w wyniku gięcia na zimno nie zależą od promienia gięcia. Natomiast Doktorant stwierdził inną prawidłowość tzn. „im mniejszy promień gięcia tym bardziej rośnie granica plastyczności”.

Wykazał on również, że proces wyżarzania kształtowników wykonanych ze stali S460M poprawia wprawdzie ciągliwość, ale mocno redukuje wartość granicy plastyczności (o 35%).

Doktorant udowodnił także, iż w wyniku procesu normalizacji udarność jest taka sama dla całego elementu niezależnie od miejsca pobrania próbki, ale jej wartość wyraźnie spada (nawet o więcej niż 100%).

Ponadto zaproponował model szacowania granicy plastyczności w dwuteownikach giętych na zimno względem silnej osi w zależności od promienia gięcia. Sformułował ograniczenie odkształceń na zimno dla stali S460M do poziomu 1,8%. Zapewnia ono zachowanie kryteriów ciągliwości tego gatunku stali podane w odpowiednich normach.

Porównując uzyskane wyniki dla stali S460M z rezultatami badań stali S235 i S355 wykonanymi przez innych badaczy Doktorant wysnuł następujący wniosek: „im wyższy

gatunek stali tym bardziej rygorystyczne są ograniczenia odkształcalności w procesie gięcia na zimno”.

Wszystkie wyżej wymienione dokonania są ważne nie tylko ze względów naukowych, ale mają duże znaczenie praktyczne, a co za tym idzie i ekonomiczne.

Bardzo ciekawe wyniki uzyskano także przy określaniu zmiany układu naprężeń własnych po gięciu na zimno w stosunku do układu naprężeń walcowniczych. Ich rozkłady znacząco różnią się. Stwierdzenie, że mogą one osiągnąć wartość równą granicy plastyczności każe zachować ostrożność w realizacji procesu gięcia na zimno.

Opisano dokładnie przebieg procesów gięcia punktowego dwuteownika względem słabej osi przekroju oraz nadawania podniesienia wykonawczego belki mostowej. Uzyskano interesujące wyniki obrazujące nakładanie się stref uplastycznienia pomiędzy punktami gięcia, a także na szerokości pasa dwuteownika. W rezultacie pozwoliło to określić stopień trwałego odkształcenia na zimno podczas wykonywania podobnych zabiegów w praktyce inżynierskiej.

Generalnie można stwierdzić, że uzyskane wyniki potwierdzają słuszność zastosowanych procedur badawczych i modeli numerycznych.

Zaprezentowany poziom merytoryczny rozprawy, a także sposób i logika wnioskowania są na bardzo dobrym poziomie. W ocenie recenzenta Doktorant zrealizował wszystkie założone sobie cele.

W zasadzie nie stwierdzono poważnych błędów, a pojawiające się niekiedy nieścisłości czy wątpliwości nie wpływają ujemnie na odbiór i jakość rozprawy.

Można zatem stwierdzić, że mgr inż. Krzysztof Marcinczak wnosi oryginalny wkład w rozwój budownictwa w zakresie konstrukcji stalowych, a w tym także i mostownictwa.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Jak to wynika z powyżej przedstawionej oceny poziom merytoryczny rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Marcinczaka jest wysoki. Tym niemniej recenzentowi nasunęły się następujące wątpliwości i uwagi:

- Trudno jest wywnioskować z treści rozprawy jaki jest udział własny Doktoranta w pracach przedstawionych w rozdziałach 4 ÷ 7. Recenzent przypuszcza, że jest bardzo znaczny.
- Choć wykracza to poza tematykę rozprawy to interesujące byłoby przedstawienie opinii Doktoranta na temat: czym należy tłumaczyć fakt, że rzeczywista granica plastyczności testowanych elementów wynosi 528 MPa, choć producent oznacza stal symbolem S460M.
- Dlaczego w analizie numerycznej biorąc pod uwagę schodkową zmianę wartości naprężeń walcowniczych (rys. 6.49b) przyjęto jako referencyjną granicę plastyczności 460 MPa, a nie pomierzoną 528 MPa?
- Jakie są kryteria umożliwiające przekształcenie modelu materiałowego M-3 (tzw. krzywa inżynierska uzyskana z badań) w model M-4 (tzw. rzeczywista krzywa rozciągania stali” - patrz rys. 6.47 str. 165)?
- Dlaczego uwzględnienie naprężeń walcowniczych w modelu numerycznym ma mały wpływ na wartości uzyskiwanych naprężeń własnych podczas procesu gięcia na zimno, za to ma duży wpływ przy określaniu trwałego ugięcia (po odciążeniu)?
- Dlaczego w rozprawie nie podano wyników (choćby wstępnych) badań elementów z „zębami”, co Doktorant zasygnalizował w „Kierunkach dalszych badań”?

4. Ocena strony formalnej pracy

Treść rozprawy jest zgodna z tytułem. Układ opracowania jest logiczny i uporządkowany. Rozprawa jest napisana dobrą polszczyzną. Narracja jest płynna, choć czasami zbyt skondensowana. Zdarzają się „wpadki” stylistyczne, tzw. „literówki” i stosowanie slangowych

sformułowań. Nieliczne, dostrzeżone w tekście usterki redakcyjne nie obniżają jej poziomu merytorycznego.

Generalnie, odbiór rozprawy jest dobry. Opracowanie graficzne jest również na bardzo dobrym poziomie.

5. Wnioski końcowe

Rozwój konstrukcji mostowych i nierozzerwalnie z tym związane zagadnienie wytwarzania elementów składowych konstrukcji stalowych jest bardzo ważnym zagadnieniem zarówno z technicznego jak i ekonomicznego punktu widzenia. Doktorant przeprowadził przemyślany i szeroko zakrojony cykl badań i analiz udowadniając, że zaproponowane rozwiązania poprawią szeroko rozumianą jakość konstrukcji stalowych, w tym i mostowych.

Opiniowana praca stanowi udane rozwiązanie postawionego zadania naukowego. Autor rozprawy wykazał się umiejętnością prowadzenia badań laboratoryjnych, rozwiązywania zagadnień teoretycznych, a także korzystania z istniejących programów komputerowych i w końcu logicznym wnioskowaniem. Wyniki przedstawionych analiz zostały wykorzystane przy sformułowaniu interesujących wniosków. Wskazane zostały także obszary do dalszych badań naukowych.

Biorąc pod uwagę przedstawione wyżej oceny stwierdzam, że przedłożona przez mgr inż. Krzysztofa Marcinczaka praca doktorska pod tytułem „**Zmiana właściwości wytrzymałościowych stali i układu naprężeń własnych po formowaniu na zimno dwuteowych kształtowników walcowych ze stali S460M**” stanowi twórczy wkład do nauki w zakresie budownictwa, a w tym i mostownictwa. Spełnia ona wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 z dnia 14 marca 2003 roku, poz. 595 ze zmianami tj. Dz.U. poz. 249 i 1767) oraz § 6 ust. 1 i ust. 2 Rozporządzenia Ministra NiSzW z dnia 30 października 2015 roku (Dz. U. poz. 1842) oraz zgodnie z art. 179 ust. 1 i art. 174 ust. 2 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku „przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2018 poz. 1669 z późniejszymi zmianami) i art. 178 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce” tj. (Dz. U. 2020 poz. 85).

Mając powyższe na uwadze, stawiam wniosek o przyjęcie opiniowanej rozprawy jako spełniającej wymagania ustawowe i dopuszczenie do publicznej obrony. Wnoszę o nadanie mgr inż. Krzysztofowi Marcinczakowi stopnia doktora nauk technicznych w dziedzinie nauki inżynierijno - techniczne, w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa i Transport.

