

Bydgoszcz, 19.02.2024 r.

prof. dr hab. inż. Dariusz Boroński
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Inżynierii Biomedycznej
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Recenzja

w postępowaniu w sprawie nadania dr. inż. Andrzejowi Kurkowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna

Opinię przygotowano na podstawie Uchwały nr 341 Senatu Politechniki Opolskiej z dnia 29 listopada 2023 r. w sprawie powołania komisji habilitacyjnej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Andrzejowi Kurkowi oraz pisma Rektora Politechniki Opolskiej.

1. Ocena wniosku dra inż. Andrzeja Kurka z dnia 26.07.2023 r. o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno- technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna w zakresie spełnienia kryteriów określonych w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”

Podstawą wniosku dra inż. Andrzeja Kurka o nadanie stopnia doktora habilitowanego są osiągnięcia naukowe przedstawione w 1. cyklu artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych. Obejmuje on następujące publikacje:

- A1. Kurek, A. Using Fatigue Characteristics to Analyse Test Results for 16Mo3 Steel under Tension-Compression and Oscillatory Bending Conditions. *Materials* (Basel). 2020, 13, 1197, doi:10.3390/ma13051197.
- A2. Kurek, A.; Koziarska, J.; Łagoda, T. The Influence of the Strain and Stress Gradient in Determining Strain Fatigue Characteristics for Oscillatory Bending. *Materials* (Basel). 2020, 13, 173, doi:10.3390/ma13010173.
- A3. Kurek, A.; Kurek, M.; Łagoda, T. Stress-life curve for high and low cycle fatigue. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 2019, 57, doi:10.15632/jtam-pl/110126.
- A4. Kurek, A.; Łagoda, T. Fracture of elastic-brittle and elastic-plastic material in cantilever cyclic bending. *Frat. ed Integrita Strutt.* 2019, 13, 42-49, doi:10.3221/IGF-ESIS.48.06.
- A5. Kurek, A.; Kurek, M.; Koziarska, J.; Vantadori, S.; Łagoda, T. Fatigue characteristics of 6082-T6 aluminium alloy obtained in tension-compression and oscillatory bending tests. *Journal of Machine Construction and Maintenance Problemy Eksploatacji*, 3, 57-69, 2018.
- A6. Kowalski, A.; Ozgowicz, W.; Grajcar, A.; Lech-Grega, M.; Kurek, A. Microstructure and fatigue properties of AlZn6Mg0.8Zr alloy subjected to low-temperature thermomechanical processing. *Metals* (Basel). 2017, 7, 448, doi:10.3390/met7100448.
- A7. Kowalski, A.; Ozgowicz, W.; Jurczak, W.; Grajcar, A.; Boczek, S.; Kurek, A. Microstructural and Fractographic Analysis of Plastically Deformed Al-Zn-Mg Alloy Subjected to Combined High-Cycle Bending-Torsion Fatigue. *Metals* (Basel). 2018, 8, 487, doi:10.3390/met8070487.

- A8. Kurek, A., Łagoda, T., & Kurek, M. (2021). Stress gradient as a size effect in fatigue life determination for alternating bending. *International Journal of Fatigue*, 153, 106461, doi:10.1016/j.ijfatigue.2021.106461.
- A9. Kulesa A., Kurek A., Łagoda T., Achtelek H., Kluger K. "Low Cycle Fatigue of Steel in Strain Controlled Cyclic Bending" *Acta Mechanica et Automatica*, 2016, 10(1), 62-65. doi:10.1515/ama-2016-0011.

Artykuły oznaczone jako A1, A2, A3, A4 i A8 zostały opublikowane w czasopismach, które w roku opublikowania w ich ostatecznej postaci były ujęte w odpowiednich wykazach sporządzonych zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b ustawy. Artykuły oznaczone jako A5, A6, A7 i A9 były opublikowane przed dniem 1 stycznia 2019 r. w czasopismach naukowych, które były ujęte w części A wykazu czasopism naukowych ustalonego na podstawie przepisów wydanych na podstawie art. 44 ust. 2 ustawy uchylanej w art. 169 pkt 4 i ogłoszonego komunikatem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 25 stycznia 2017 r. (artykuły oznaczone jak A6 i A7) oraz w części B tego wykazu (artykuły oznaczone jako A5 i A9) z punktacją powyżej 10 punktów.

W artykule A1 (2020 r.) omówione są wyniki badań porównawczych własnego i literaturowych modeli opisujących wykresy trwałości zmęczeniowej uzyskane na podstawie badań prowadzonych dla dwóch typach obciążeń symetrycznych: osiowego i gnącego. Badania dotyczyły zakresu niskocyklowej trwałości zmęczeniowej.

Artykuł oznaczony jako A2 (2020 r.) prezentuje opracowany przez jego autorów nowy model opisujący charakterystykę zmęczeniową w ujęciu odkształceniowym wyznaczaną na bazie wyników badań uzyskiwanych w warunkach obciążeń gnących z uwzględnieniem gradientów odkształcenia i naprężenia.

W kolejnym artykule wchodzącym w cykl publikacji (A3, 2019 r.), autorzy omawiają własną propozycję modelu opisującego wykres trwałości zmęczeniowej w ujęciu naprężeniowym łączącym zakresy nisko i wysokocyklowego zmęczenia w jednej formule.

Czwarty artykuł cyklu (A4, 2019 r.) dotyczy analizy wyników badań porównawczych dwóch materiałów konstrukcyjnych realizowanych w warunkach symetrycznego rozciągania-ściskania i wahadłowego zginania. Wyniki badań trwałości analizowano w odniesieniu do wyników badań mikrostrukturalnych i fraktograficznych.

W artykule A5 (2018 r.) odnajdujemy porównanie wyników badań eksperymentalnych trwałości zmęczeniowej dla jednego stopu aluminium prowadzonych dla rozciągania-ściskania oraz zginania kontrolowanego odkształceniem/przemieszczeniem. W badaniach stosowano literaturowe oraz własny model stosujące podejście naprężeniowe i odkształceniowe. Do analizy naprężeń w warunkach zginania badanego materiału zastosowany został model ciała sprężysto-plastycznego.

Artykuł A6 (2017 r.) jest w głównej mierze poświęcony kwestii wpływu niskotemperaturowej obróbki cieplno-mechanicznej (przesycanie - walcowanie na zimno - starzenie) na mikrostrukturę badanego stopu aluminium oraz jej powiązanie z trwałością zmęczeniową oraz charakterem pękania analizowanym na bazie analiz fraktograficznych. Analiza mikrostruktury była realizowana metodą mikroskopii elektronowej SEM. Podobnie jak w poprzednich pracach, w badaniach stosowane były obciążenia gnące oraz dodatkowo obciążenia skręcające.

Podobną tematykę odnajdujemy w artykule A7 (2018 r.), w którym analizowano wpływ różnych poziomów odkształceń wywołanych niskotemperaturową obróbką cieplno-mechaniczną na mikrostrukturę i wytrzymałość zmęczeniową stopu aluminium. Badania wytrzymałości zmęczeniowej prowadzone były dla zakresu wysokocyklowej trwałości w warunkach obciążeń gnących ze skręcaniem. Wpływ odkształcenia plastycznego będącego efektem zastosowanej obróbki cieplno-mechanicznej na mikrostrukturę badanego stopu analizowano z zastosowaniem elektronowej mikroskopii transmisyjnej (TEM), a charakter przebiegu pękania zmęczeniowego badano przy użyciu skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM).

Z kolei w artykule A8 (2021 r.) porównano eksperymentalnie wyznaczoną trwałość zmęczeniową stali i stopu aluminium ze szczególnym uwzględnieniem efektu skali oraz gradientu odkształcenia i naprężenia w warunkach obciążeń gnących.

Ostatni z cyklu artykułów (A9, 2016 r.) jest efektem badań trwałości zmęczeniowej stali 15Mo3 w warunkach symetrycznie zmiennego rozciągania-ściskania oraz wahadłowego zginania dla obciążeń z zakresu nisko i wysokocyklowej trwałości zmęczeniowej. Podobnie, jak w artykule A1, w pracy poddano analizie możliwość modelowania trwałości z zastosowaniem różnych modeli oraz zaproponowano własną propozycję opisu zależności trwałości zmęczeniowej od liczby cykli obciążenia.

Przedstawiona powyżej krótka charakterystyka zakresu tematycznego artykułów zamieszczonych we wniosku pozwala zauważyć, że ich wiodącym obszarem jest problem modelowania trwałości zmęczeniowej zróżnicowanej grupy materiałów konstrukcyjnych badanych w różnych warunkach obciążeń oraz ocena wpływu gradientu naprężenia w warunkach obciążeń gnących na analizowane modele trwałości zmęczeniowej w odniesieniu do wyników badań w warunkach obciążeń osiowych. Układ chronologiczny problemów podejmowanych w kolejnych pracach ma w ogólności logiczne uzasadnienie i przemawia za uznaniem omawianego cyklu publikacji za zaplanowane przedsięwzięcie badawcze o dobrze zdefiniowanym celu, jakim była ocena możliwości uogólnienia modelowania trwałości zmęczeniowej na pełen zakres liczby cykli do zniszczenia uzyskiwanych w badaniach i uniezależnienia modelowania od charakteru obciążenia i sposobu realizacji badań, w tym opracowanie i zweryfikowanie modeli własnych. Dodatkowym aspektem wiążącym ze sobą omawiane pozycje cyklu publikacji jest zastosowanie w nich oryginalnego stanowiska do badań zmęczeniowych w warunkach obciążenia gnącego o kontrolowanej wartości przemieszczenia, którego współautorem o znacznym udziale wkładu prac jest dr inż. Andrzej Kurek.

Biorąc powyższe pod uwagę można stwierdzić, że przedstawiony do oceny cykl publikacji spełnia formalne kryterium określone w art. 219 ust. 1 pkt 2 litera b) ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”, tj. stanowi *1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b*, a tym samym może być podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

2. Ocena osiągnięć naukowych

Dr inż. Andrzej Kurek urodził się w 1985 roku. Studia na Politechnice Opolskiej ukończył w 2009 roku. Stopień doktora nauk technicznych (z wyróżnieniem) uzyskał w 2014 roku na podstawie pracy zatytułowanej „Trwałość zmęczeniowa elementów maszyn wykonanych z bimetalu stal-tytan zgrzewanego wybuchowo” w przewodzie realizowanym na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej.

Kandydat pracuje naukowo na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej od 2011 roku. Początkowo na stanowisku asystenta, a od 2014 roku po uzyskaniu stopnia doktora, jako adiunkt w Katedrze Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn. Od 2020 roku pełni funkcję kierowniczą w Laboratorium zaawansowanych metod druku 3D, od 2021 roku w Laboratorium trwałości i wytrzymałości materiałów oraz zaawansowanych metod druku 3D.

Przedstawiona powyżej krótka charakterystyka kariery naukowej Kandydata w połączeniu z analizą dorobku publikacyjnego wskazuje na wyraźne skoncentrowanie Jego zainteresowań na zagadnienia związane z problematyką zmęczenia materiałów. Swoją działalność naukową prowadzi w zespole, który posiada rozległe i wieloletnie doświadczenie w zakresie teoretycznych i eksperymentalnych badań zmęczeniowych.

Zmęczenie materiałów konstrukcyjnych jest stale aktualnym problemem w inżynierii mechanicznej, które musi być brane pod uwagę w bardzo wielu obszarach zastosowań. Dotyczy to głównie takich przypadków, w których uszkodzenia elementów konstrukcyjnych spowodowane zmęczeniem mogą wpływać na zdrowie i życie ludzi lub zagrażać środowisku naturalnemu. Niesie to za sobą bardzo dużą

odpowiedzialność, której świadomość sprzyja zachowaniu dużej ostrożności i tym samym konserwatywnemu podejściu we wdrażaniu nowej wiedzy do praktyki inżynierskiej. W efekcie pomimo wielu prac zmierzających do poprawy jakości modelowania trwałości zmęczeniowej, często w procedurach konstruowania dominujące znaczenie zachowują tradycyjne modele materiałów bazujące na wyznaczanych doświadczalnie wykresach trwałości zmęczeniowej w ujęciach naprężeniowym lub odkształceniowym, wyznaczanych dla jasno zdefiniowanych warunków obciążenia. Takie empiryczne podejście do wiarygodnego modelowania materiałów konstrukcyjnych w zakresie ich właściwości zmęczeniowych, podobnie jak w przypadku wielu innych właściwości mechanicznych, wynika także z braku akceptowalnych modeli fizycznych umożliwiających teoretyczne symulowanie trwałości zmęczeniowej na bazie innych właściwości materiałowych lub dla odmiennych warunków badań. Innym aspektem w zakresie stosowania tradycyjnych modeli opisujących trwałość zmęczeniową jest trudna do przecenienia dostępność istniejących baz danych materiałowych oraz uznanych narzędzi obliczeniowych, takich jak na przykład stosowany powszechnie w branży lotniczej (i nie tylko) moduł NASFORM w programie NASGRO®, bazujący na modelu naprężeniowym i czterech różnych modelach odkształceniowych.

Istotnym problemem w ocenie jakości modeli opisujących zależność trwałości zmęczeniowej od zadanych obciążeń jest znaczne zróżnicowanie wyników badań wynikające z probabilistycznego charakteru zmęczenia, co jest szczególnie łatwe do zauważenia wraz ze zmniejszaniem się wartości obciążenia. Nakłada się na to dodatkowo wpływ licznych czynników technologicznych, geometrycznych, środowiskowych, które mogą dawać różne wyniki badań dla tych samych materiałów konstrukcyjnych, jednak prowadzonych w różnych ośrodkach. Powoduje to duży sceptycyzm w ocenie nowych metod modelowania, także w środowisku naukowym.

Niezależnie od tych wszystkich niesprzyjających uwarunkowań, dr inż. Andrzej Kurek swoje zainteresowania naukowe skierował na próbę opisu właściwości zmęczeniowych materiałów konstrukcyjnych w nowy sposób, który w założeniach miał złagodzić niedogodności klasycznych metod. W swoim autoreferacie zwraca między innymi uwagę na podział właściwości zmęczeniowych na różne zakresy, tj. wysoko i niskocyklowej trwałości oraz na zakres ograniczonej i nieograniczonej trwałości, przy okazji nie unikając niezręczności polegającej na dość często spotykanym określeniu zakresu obciążeń poniżej granicy zmęczenia jako nieograniczonej wytrzymałości. Biorąc pod uwagę wykładniczy charakter zmian trwałości w zależności od obciążenia, często do jej opisu stosowane są modele logarytmiczne, które pozwalają na stosunkowo prostą aproksymację wyników badań za pomocą równań liniowych. Dotyczy to zarówno zakresu wysoko, jak i niskocyklowej trwałości, przy czym w drugim przypadku końcowy opis jest superpozycją liniowych funkcji opisujących związki trwałości oraz sprężystych i plastycznych składowych odkształcenia. Jeśli jednak rozpatrywać przebieg wykresu trwałości zmęczeniowej w ujęciu naprężeniowym (typowym dla zakresu wysokocyklowego zmęczenia), to wyraźnie widać, że jest on liniowy tylko dla ograniczonego zakresu naprężeń. Poza nim zmienia swój charakter, łagodnie przechodząc do zakresów, w których trwałość istotnie zmniejsza swoją zależność od wartości obciążenia. Taki charakter wykresu trwałości został obrazowo opisany przez Kandydata, jako „spłaszczona litera S”, a w literaturze określany jest jako pełen wykres Wöhlera. Jednak zastosowanie podejścia naprężeniowego do wyznaczenia jednego wykresu dla całego zakresu trwałości zmęczeniowej jest ograniczone powstawaniem odkształceń plastycznych przy wyższych poziomach obciążenia, które w przypadku stosowania naprężenia jako wartości kryterialnej w trakcie realizacji prób zmęczeniowych, będą skutkować asymetrią odkształcenia i cyklicznym pełzaniem ze względu na efekt umacniania materiału spowodowanego jego odkształceniem plastycznym. Takie ograniczenie nie występuje w przypadku podejścia odkształceniowego, w którym wielkością kryterialną (sterującą) próbą zmęczeniową jest amplituda odkształcenia. W takim przypadku zachowanie symetrii naprężenia jest znacznie łatwiejsze, jednak pojawiają się inne ograniczenia, w tym trudność z doprowadzeniem próbki do złomu rozdzielczego dla niskich wartości odkształcenia (w zakresie odkształceń sprężystych), gdyż wraz z pojawieniem się pęknięcia potrzebna jest znacznie mniejsza siła do utrzymania amplitudy odkształcenia sprzed inicjacji pęknięcia i uzyskiwane trwałości zmęczeniowe mogą nie odzwierciedlać faktycznych

procesów zachodzących w materiale. Pomimo tych ograniczeń, model odkształceniowy może być zastosowany w zakresie wysokocyklowym, jednak w takim przypadku zależność Mansona-Coffina zostaje zredukowana do części opisującej składową sprężystą odkształcenia, tj. liniowego odcinka charakteryzowanego wartościami współczynnika wytrzymałości zmęczeniowej σ_f oraz wykładnika odkształceniowego wykresu zmęczeniowego b .

Kolejnym problemem wskazanym przez dra Andrzeja Kurka jest złożoność infrastruktury niezbędnej do badań właściwości zmęczeniowych próbek materiałowych w warunkach obciążeń osiowych z kontrolowaną wartością odkształcenia. Tego typu testy zmęczeniowe wymagają stosowania kosztownych systemów zapewniających stałą modyfikację parametrów sterujących hydraulicznym lub elektromechanicznym układem wykonawczym maszyn wytrzymałościowych dla zachowania zadanych warunków obciążenia. Trzeba bowiem pamiętać, że odkształcenie jest odpowiedzią materiału na zadane obciążenie, a ta może zmieniać się wraz ze zmianami właściwości materiałów, które rzadko są cyklicznie stabilne, co wykazano w licznych badaniach.

Odpowiedzią na wskazane problemy może być, w opinii Kandydata, zastosowanie do badań i opisu cyklicznych właściwości materiałowych obciążeń gnących, które jednak wymagają uwzględnienia w analizie wyników badań innej „intensywności” obciążenia próbek wynikającej z gradientów odkształceń i naprężeń w przekroju próbki.

Zamieszczony we wniosku cykl publikacji pokazuje przebieg zrealizowanych badań zmierzających do rozwiązania wskazanych problemów badawczych, których efektem są zadeklarowane przez Kandydata osiągnięcia naukowe, zdefiniowane jako: „Nowe modele charakterystyk zmęczeniowych odpowiadające potrzebom badań zmęczeniowych w warunkach cyklicznego zginania”.

Zaproponowane przez dra inż. Andrzeja Kurka modele charakterystyk zmęczeniowych, tj. model naprężeniowy oraz model odkształceniowy obejmują jednocześnie zakres wysoko i niskocyklowej trwałości i umożliwiają opis charakterystyk zmęczeniowych wyznaczanych zarówno w warunkach obciążeń osiowych, jak i w warunkach obciążeń gnących.

Model naprężeniowy, opisany w pracy A3, o postaci (kopia z artykułu):

$$\log \frac{\sigma_a}{R_m} = B \log(2N_f) + C \log^2(2N_f) + D \log^3(2N_f)$$

w odróżnieniu od innych podobnych propozycji, w tym np. zależności Kandila z 2000 roku, ma charakter wielomianu trzeciego stopnia (w przypadku modelu Kandila jest to wielomian drugiego stopnia), przez co może być w lepszy sposób dopasowany do charakteru wyników eksperymentalnych badań zmęczeniowych obejmujących łącznie nisko i wysokocyklowy zakres trwałości (opisywanego obrazowo, jednak mało formalnym językiem, jako spłaszczona litera S).

Modele opisujące wyniki badań zmęczeniowych w większości przypadków zawierają w sobie stałe materiałowe, które wyznaczane są w empiryczny sposób i często nie mają jednoznacznej interpretacji fizycznej związanej z innymi właściwościami badanego materiału. W przypadku modeli liniowych (oczywiście liniowych z uwzględnieniem skali logarytmicznych) stałe te wyznaczane są metodą regresji liniowej, stosunkowo łatwą w zastosowaniu bez specjalnych narzędzi obliczeniowych. Stosowanie modeli nieliniowych utrudnia to zadanie i zazwyczaj angażuje bardziej złożone narzędzia obliczeniowe umożliwiające wyznaczenie współczynników wielomianu. Model zaproponowany przez Kandydata również obciążony jest taką słabością i zgodnie z informacją podaną w pracy A3 stałe wyznaczane są numerycznie, chociaż w mojej ocenie nie ma konieczności stosowania metod numerycznych do obliczenia współczynników wielomianu aproksymującego zestaw danych pozyskiwanych z eksperymentu. Opracowany model posiada jednak dodatkowy element związany z analizowanym materiałem, gdyż normalizuje wartość naprężeń do wartości wytrzymałości doraźnej R_m wyznaczonej w próbie statycznego rozciągania. Tym samym posiada pozornie bezpośrednie fizycznie uzasadnione ograniczenie naprężenia, która może spowodować uszkodzenie w pierwszym cyklu obciążenia. Należy jednak zawrócić uwagę, że nie oznacza to jednak, że dla większej liczby cykli wartość stosunku σ_a/R_m w zaproponowanym modelu nie może uzyskać wartości większej od 1, co tym samym podważałoby takie uzasadnienie. Autorzy pracy A3, chociaż nie wskazują wprost tego

ograniczenia, to jednak sugerują, aby ograniczyć zakres stosowalności modelu do przedziału od 200 do 5000000 cykli, gdyż „... *Applications of the model for specimens which broke during tests in lower number of cycles than 200 could cause some problems due to the fact that the ultimate tensile strength could be exceeded ...*”. Ten sam problem występuje także po stronie dużych liczby cykli i oczywiście związany jest z zastosowaniem wielomianu trzeciego stopnia do opisu charakterystyki zmęczeniowej.

Innym skutkiem zastosowania opisu tego typu jest także brak liniowego charakteru wykresu w zakresie stosowania tradycyjnych modeli liniowych (Wohlera, Basquina, i innych).

Opracowany model został zweryfikowany na podstawie danych literaturowych na 10 różnych materiałach, poprzez ocenę wartości współczynników determinacji R^2 , a także na własnych wynikach badań eksperymentalnych prowadzonych dla stopu aluminium 6082-T6 (A5).

Z analizy artykułów podanych w autoreferacie mogłoby wynikać, że praca A3 wskazana jako źródłowa dla propozycji modelu ukazała się po pracy A5, w której model był zastosowany. Jednak dokładniejsza analiza wykazała, że A3 ukazał się dopiero po prawie dwóch latach od jego zgłoszenia, co wyjaśnia taką sytuację.

Doświadczenie dotyczące badań w warunkach kontrolowanej wartości naprężenia Kandydat zbierał także w badaniach opisanych w artykułach A6-A7, w których skoncentrował się na analizie właściwości stopu aluminium AlZn6Mg0.8Zr. Wyniki badań jego trwałości zmęczeniowej w zróżnicowanych warunkach obciążenia analizowano i porównywano w kontekście wpływu warunków obciążenia oraz zmian mikrostruktury wywołanej obróbką cieplno-mechaniczną na ich trwałość zmęczeniową.

Drugi zaproponowany model dotyczy opisu charakterystyki zmęczeniowej w ujęciu odkształceniowym i został szczegółowo omówiony w pracach A1 (kopia z artykułu):

$$\log(\varepsilon_{a,t} - D)_t = A - B \log(N_f) + C \log^2(N_f)$$

i A9 (kopia z artykułu):

$$\log(\varepsilon_{at} - D) = A - B \log(N_f) + C \log^2(N_f),$$

przy czym chronologicznie wcześniej ukazał się artykuł A9 (2016 rok). W artykułach prezentowane są generalnie te same wyniki badań jednak odniesione do innych oznaczeń tej samej stali (15Mo3 i 16Mo3), co może wprowadzać czytelnika w błąd. Jednak w autoreferacie Kandydat opisuje już wszystkie badania, także w opisie poszczególnych artykułów, jednym oznaczeniem, tj. 16Mo3. Niestety, ani w artykule A1, ani A9 nie zostały zamieszczone wartości wyznaczonych stałych A, B, C i D, co uniemożliwia ich pełniejszą analizę.

Zgodnie z deklaracją Autora zaproponowane rozwiązanie bazuje na wcześniejszych modelach Langer'a z 1962 roku i Kandila w 2000 roku i jest w głównej mierze jego pomysłem, czego potwierdzeniem mogą być oświadczenia współautorów. Jedną z zalet opracowanego modelu, zdaniem Autora, jest możliwość wyznaczenia charakterystyki zmęczeniowej bez konieczności separacji odkształceń plastycznych i sprężystych, jak ma to miejsce w modelu Mansona-Coffina.

Inaczej niż w modelu naprężeniowym, w tym przypadku do opisu właściwości zmęczeniowych zastosowano aproksymację wielomianem drugiego stopnia, przy czym wykres prezentowany jest w układzie semilogarytmicznym, co wizualnie umożliwia uzyskanie jego przebiegu w postaci „litery S”. Należy jednak przy tym zauważyć, że z formalnego punktu widzenia model pozostaje wielomianem drugiego stopnia, gdzie logarytm odkształcenia jest funkcją logarytmu liczby cykli. To oznacza, że nie jest możliwe, aby mógł jednocześnie uwzględniać odchylenia od liniowości dla małych i dużych liczb cykli. W zależności od dobranych wartości stałych A, B i C będzie dobrze opisywać początkową (prawa gałąź odwróconej paraboli) lub końcową część wykresu (lewa gałąź paraboli). Należy przy tym zauważyć, że zastosowanie do opisu wykresu prawej gałęzi odwróconej paraboli spowoduje, że wraz ze wzrostem liczby cykli „spadki” odkształcenia będą coraz większe, co jest w sprzeczności z wynikami badań eksperymentalnych. W przypadku wyników badań opisanych w pracy Kandila, do opisu charakterystyki zmęczeniowej został wykorzystany fragment „opadającej” gałęzi paraboli, co dobrze

oddało charakter wyników badań, tj. dla malejącej wartości odkształcenia przyrosty trwałości stawały się coraz większe. Tym samym, w mojej ocenie, zaproponowane rozwiązanie będzie mogło opisywać charakterystykę zmęczeniową wyłącznie dla ściśle ograniczonych zakresów liczb cykli.

Obydwa zaproponowane modele zostały poddane weryfikacji z użyciem danych eksperymentalnych pozyskiwanych w warunkach obciążeń osiowych i dla zginania, a także w niektórych przypadkach dla obciążeń wieloosiowych. W badaniach stosowano zarówno standardowe maszyny do badań zmęczeniowych, jak i własne oryginalne stanowiska badawcze, w szczególności do badań w warunkach wahadłowego zginania. Ich konstrukcja i zastosowane systemy sterowania pozwalały na prowadzenie badań zarówno dla kontrolowanej wartości amplitudy naprężenia, jak i przy sterowaniu amplitudą przemieszczenia. Wyniki badań uzyskiwane w drugim przypadku określane są, w opisujących je artykułach, jako badania przy kontrolowanej wartości odkształcenia. Może to budzić pewne wątpliwości wynikające z pośredniego sposobu określania wartości odkształceń na podstawie przemieszczenia, co każdorazowo może wprowadzać niepewność związaną z wieloma czynnikami, które mogą tę potencjalnie liniową zależność zakłócić, takimi jak sztywność mocowania próbki, luzy w układzie napędowym, sztywność elementów mocujących i obciążających próbkę. Większość z tych zakłóceń Autorzy stanowisk badawczych eliminowali poprzez kalibrację układu sterowania specjalnie opomiarowanymi próbkami, co jednak w mojej ocenie nie usuwa wszystkich potencjalnych zakłóceń. Oczywiście podobne zakłócenia mogą występować także w przypadku standardowych maszyn, jednak są one zazwyczaj eliminowane poprzez stosowanie do pomiaru odkształcenia i sterowania praca maszyn ekstensometrów mocowanych do części pomiarowych próbek.

Jak wynika z analizy artykułów stanowiących oceniany cykl publikacji, symetrycznie/wahadłowo zmienne zginanie było podstawą większości badań realizowanych przez dra inż. Andrzeja Kurka. Wynikające z nich porównania z wynikami badań prowadzonych dla obciążeń osiowych skłoniły Kandydata do analiz wpływu gradientów odkształcenia i naprężenia na charakter modeli materiałowych. Ich efektem jest przedstawiony w pracach A2 i A8 model umożliwiający konwersję wyników badań prowadzonych w warunkach zginania do warunków obciążenia osiowego (A2) oraz uwzględnienia gradientu odkształcenia i naprężenia w porównywalny sposób do efektu skali (A8).

Zaproponowany model konwersji jest oparty na stosunku gradientu naprężeń i odkształceń na powierzchni próbki. Przyjęto przy tym liniowy rozkład odkształceń w przekroju zginanej próbki oraz nieliniowy rozkład naprężeń odpowiadający charakterystyce odkształceniowo-naprężeniowej materiału próbki - w proponowanym rozwiązaniu był to model Ramberga-Osgooda.

Efektem zastosowania opracowanego modelu jest zmniejszanie wartości amplitudy odkształcenia, którą uwzględnia się przy konstruowaniu charakterystyki zmęczeniowej. Skutkiem tego, wykres trwałości dla tak zmodyfikowanych wartości odkształceń przebiega poniżej wykresu bazowego, a tym samym zmniejsza trwałość materiału. Jest to oczekiwane działanie, biorąc pod uwagę, że wykresy trwałości zmęczeniowej wyznaczone dla obciążeń gnących dawały znacząco wyższe trwałości od wykresów wyznaczanych w warunkach obciążeń osiowych, tj. dla rozciągania-ściskania.

Opracowany model został zweryfikowany w badaniach porównawczych przeprowadzonych na siedmiu materiałach i w większości przypadków pozwolił na zbliżenie charakterystyk zmęczeniowych wyznaczonych dla obciążeń gnących do ich odpowiedników wyznaczonych w warunkach obciążenia osiowego. Nie do końca jest jednak dla mnie jasny zaproponowany sposób oceny zgodności wykresów trwałości. W mojej ocenie, przynajmniej w części przypadków, można było zastosować inne rozwiązania, np. z wykorzystaniem statystycznych testów zgodności.

Większa zgodność wyników badań w warunkach obciążeń osiowych i gnących ma niewątpliwie istotne znaczenie z punktu widzenia szerszego zastosowania wyników badań właściwości materiałowych w warunkach wahadłowego zginania.

W badaniach opisanych w pracy A8, Kandydat starał się wykazać, że badania prowadzone w warunkach obciążeń gnących dają efekt podobny do efektu skali. Zadanie to zrealizował porównując wyniki badań na dwóch materiałach uzyskane w próbie wahadłowego zginania, z badaniami w warunkach rozciągania-ściskania przeprowadzonych na próbkach o różnych przekrojach poprzecznych. Ich wyniki wstępnie potwierdziły przyjęte przez Kandydata założenie.

Przedstawione w autoreferacie osiągnięcia naukowe nie wyczerpują oczywiście całej działalności naukowej Kandydata. Zgodnie z załączonym do wniosku wykazem obejmuje ona 61 publikacji (w tym 5 samodzielnych). Spośród nich, 33 znajdują się w bazie SCOPUS, a pozostałe, zgodnie z deklaracją Kandydata, ukazały się jako prace recenzowane w innych czasopismach i materiałach konferencyjnych.

Załączone do wniosku dane bibliometryczne opisujące cały dorobek publikacyjny Kandytata, w tym sumaryczny impact factor (IF) wynoszący 62.267, liczbę cytowań bez autocytowań od 97 w bazie Web of Science (WoS) do 139 w bazie Scopus oraz indeks Hirsha (h-index) od 7 według WoS po 9 według Scopus, w mojej ocenie są na dobrym poziomie i potwierdzają dobre upowszechnianie wyników prowadzonych badań i zainteresowanie osiągnięciami dra inż. Andrzeja Kurka, właściwymi dla osób ubiegających się o stopień doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

3. Wniosek końcowy

Zrealizowane przez dra Andrzeja Kurka samodzielnie lub w większych zespołach naukowych badania dotyczyły analizy właściwości zmęczeniowych szerokiego zakresu materiałów konstrukcyjnych stosowanych w budowie maszyn. Na ich podstawie zostały zaproponowane metody modelowania zależności trwałości zmęczeniowej i wartości obciążeń w ujęciach naprężeniowym i odkształceniowym znajdujące zastosowanie m.in. w metodach obliczeń trwałości zmęczeniowej elementów konstrukcyjnych. W opisanych badaniach zastosowano metody badań eksperymentalnych z zakresu mechaniki eksperymentalnej ciała stałego, właściwe dla zagadnień inżynierii mechanicznej. Tym samym można stwierdzić, że osiągnięcia dra inż. Andrzeja Kurka będące podstawą wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego mieszczą się dyscyplinie inżynieria mechaniczna, a ich zakres i poziom merytoryczny, pomimo pewnych krytycznych uwag zaprezentowanych w recenzji, spełnia wymagania wynikające z Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”, stawiane Kandydatom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

