

Dr inż. Adam Lipski

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy

im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy

Wydział Inżynierii Mechanicznej

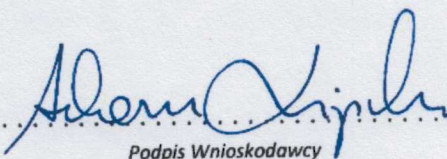
Instytut Mechaniki i Konstrukcji Maszyn

Instytutowe Laboratorium Badań Materiałów i Konstrukcji

Stanowisko: adiunkt

Autoreferat

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych, w szczególności określonych na podstawie art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 poz. 1311)


Podpis Wnioskodawcy

1. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Stopień doktora: Rok uzyskania: **2003**

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Wydział Mechaniczny
(aktualnie: Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej).

Dyscyplina: budowa i eksploatacja maszyn.

Tytuł pracy doktorskiej:

**Analiza wpływu rozkładów odkształceń i naprężeń na trwałość
zmęczeniową złożonych elementów konstrukcyjnych**

Promotor:

prof. dr hab. inż. Józef Szala.

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Krzysztof Rosochowicz – Politechnika Gdańska,
prof. dr hab. inż. Janusz Sempruch – Akademia Techniczno-Rolnicza
w Bydgoszczy.

**Praca wyróżniona przez Radę Wydziału Mechanicznego Akademii
Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy.**

Tytuł zawodowy Rok uzyskania: **1995**

magistra inżyniera: Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Wydział Mechaniczny
(aktualnie: Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej).

Kierunek: mechanika i budowa maszyn.

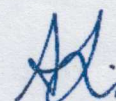
Specjalność: obrabiarki i urządzenia technologiczne.

Tytuł pracy magisterskiej:

Hydrauliczny napęd pulsacyjny

Promotor:

dr inż. Bogdan Zastempowski.



2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- Od 2017.01.01 Zastępca Dyrektora Instytutu Mechaniki i Konstrukcji Maszyn,
Wydział Inżynierii Mechanicznej,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy.
- 2010.11.04 - do dziś Adiunkt w Instytutowym Laboratorium Badań Materiałów i Konstrukcji,
Instytut Mechaniki i Konstrukcji Maszyn,
Wydział Inżynierii Mechanicznej,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy.
Od 04.11.2010 r. kierownik ds. jakości / zastępca kierownika
laboratorium akredytowanego (akredytacja Polskiego Centrum
Akredytacji nr AB 372).
- 2004.03.01 - 2010.11.03 Adiunkt w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn
Wydział Mechaniczny Akademii Techniczno-Rolniczej.
Od 1.09.2009 r., po reorganizacji wydziału, zatrudniony
w Zakładzie Podstaw Konstrukcji Maszyn,
Instytut Mechaniki i Konstrukcji Maszyn,
Wydział Inżynierii Mechanicznej,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy.
- 1995.07.01 - 2004.02.29 Asystent w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn,
Wydział Mechaniczny,
Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy.
- 1995.04.01 - 1995.06.30 Asystent-stażysta w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn,
Wydział Mechaniczny,
Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy.

3. Osiągnięcie naukowe, uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora, wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 poz. 1311)

3.1.1. Osiągnięcie naukowe

Osiągnięcie naukowe lub artystyczne, uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiące znaczny wkład autora w rozwój określonej dyscypliny naukowej stanowi cykl publikacji powiązanych tematycznie pt.

Ocena własności wytrzymałościowych metali poddanych obciążeniom monotonicznym i zmęczeniowym przy zastosowaniu termografii podczerwieni

składający się z 18 pozycji (w porządku chronologicznym):

- A1. **Lipski A., Mroziński S.:** *Termowizyjna analiza zmiany temperatury w trakcie monotonicznego rozciągania próbki stalowej bez wyraźnej granicy plastyczności.* Materiały XXII Sympozjum Międzysekcyjnego Zespołu Zmęczenia i Mechaniki Pękania Materiałów i Konstrukcji KBM PAN nt.: *Zmęczenie i Mechanika Pękania*, Wydawnictwa Uczelniane UTP, Bydgoszcz-Pieczyska 2008, ss. 193÷200.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji artykułu, przeprowadzeniu pomiarów przy zastosowaniu kamery termograficznej CEDIP Silver 420 w trakcie opisanych w pracy prób monotonicznego rozciągania na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8502, opracowaniu i analizie wyników prób rozciągania i pomiarów termograficznych, opracowaniu tekstu artykułu.

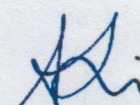
Szacuję, że mój udział w powstanie pracy wynosi 80%.

- A2. **Lipski A.:** *Zmiana temperatury próbki płaskiej ze stopu 2024-T3 w trakcie próby monotonicznego rozciągania.* Materiały XXIII Sympozjum Mechaniki Eksperymentalnej Ciała Stałego, Jachranka 2008, 6 stron.
- A3. **Lipski A.:** *Zastosowanie biernej termografii podczerwieni w badaniach materiałów i złączy nitowych – wybrane zagadnienia.* Część II zbioru monografii pod redakcją prof. Józefa Szali pt. *Metody doświadczalne w badaniach materiałów stosowanych na poszycia samolotów i połączeń nitowych – wybrane zagadnienia.* Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu, Bydgoszcz-Radom, 2010.

Punktacja MNiSW, 12 pkt.

- A4. **Lipski A., Boroński D.:** *Use of Thermography for the Analysis of Strength Properties of Mini-Specimens.* Materials Science Forum, Vol. 726 (2012), pp. 156-161.

Praca indeksowana w bazie Web of Science, 10 pkt MNiSW.



Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji artykułu, przeprowadzeniu pomiarów przy zastosowaniu kamery termograficznej CEDIP Silver 420 wyposażonej w obiektyw mikroskopowy w trakcie opisanych w pracy prób monotonicznego rozciągania i prób zmęczeniowych przy zastosowaniu systemu MFS, opracowaniu i analizie wyników prób rozciągania i prób zmęczeniowych oraz pomiarów termograficznych, współudziale w opracowaniu tekstu artykułu i wniosków.

Szacuję, że mój udział w powstanie pracy wynosi 60%.

- A5. **Lipski A., Skibicki D.:** *Variations of the Specimen Temperature Depending on the Pattern of the Multiaxial Load - Preliminary Research*. Materials Science Forum, Vol. 726 (2012), pp. 162-168.

Praca indeksowana w bazie Web of Science, 10 pkt MNiSW.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: przeprowadzeniu pomiarów przy zastosowaniu kamery termograficznej CEDIP Silver 420 w trakcie opisanych w pracy prób zmęczeniowych na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8874, opracowaniu i analizie wyników pomiarów termograficznych, współudziale w opracowaniu tekstu artykułu i wniosków.

Szacuję, że mój udział w powstanie pracy wynosi 50%.

- A6. Skibicki D., Sempruch J., **Lipski A.**, Pejkowski Ł.: *Fatigue Life, Fractographic and Thermographic Analysis of Steel X2CrNiMo17-12-2 for Proportional and Non-Proportional Loads*. Proceedings of the Tenth International Conference on Multiaxial Fatigue & Fracture (ICMFF10), Kyoto (Japan), 3-6 June 2013, 8 pages.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: przeprowadzeniu pomiarów przy zastosowaniu kamery termograficznej CEDIP Silver 420 w trakcie opisanych w pracy prób zmęczeniowych na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8874, opracowaniu i analizie wyników pomiarów termograficznych, współudziale w opracowaniu tekstu artykułu i wniosków.

Szacuję, że mój udział w powstanie pracy wynosi 30%.

- A7. **Lipski A.:** *Impact of the Strain Rate during Tension Test on 46Cr1 Steel Temperature Change*. Key Engineering Materials, 2014, Vol. 598, pp. 133-140.

Praca indeksowana w bazie Web of Science, 10 pkt MNiSW.

- A8. **Lipski A., Lis Z.:** *Temperature Changes Induced by the Portevin-Le Châtelier (PLC) Effect during Tensile Test Based on the Example of CuZn37 Brass*. Solid State Phenomena, 2015, Vol. 224, pp. 238-243.

Praca indeksowana w bazie Web of Science, 5 pkt MNiSW.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji artykułu, przeprowadzeniu pomiarów przy zastosowaniu kamery termograficznej CEDIP Silver 420 w trakcie opisanych w pracy prób zmęczeniowych na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8502, opracowaniu i analizie wyników prób zmęczeniowych oraz pomiarów termograficznych, opracowaniu tekstu artykułu i wniosków.

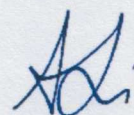
Szacuję, że mój udział w powstanie pracy wynosi 80%.

- A9. **Lipski A.:** *Determination of Fatigue Limit by Locati Method using S-N Curve Determined by Means of Thermographic Method*. Solid State Phenomena, Vol. 223, pp. 362-373, 2015.

- A10. **Lipski A.:** *Thermographic Method Based Accelerated Fatigue Limit Calculation for Steel X5CrNi18-10 Subjected to Rotating Bending*. Polish Maritime Research, No. 4 (88), Vol. 22, 2015, pp. 64-69.

Publikacja z listy A MNiSW, 20 pkt MNiSW, 2015 Impact Factor 0.33.

- A11. **Lipski A.:** *Accelerated Determination of Fatigue Limit and S-N Curve by Means of Thermographic Method for X5CrNi18-10 Steel.* Acta Mechanica et Automatica, Vol. 10, No. 1, 2016, pp. 22-27.
Praca indeksowana w bazie *Web of Science*. Publikacja z listy B MNiSW, 14 pkt.
- A12. **Lipski A.:** *Rapid Determination of the S-N Curve for Steel by means of the Thermographic Method.* Advances in Materials Science and Engineering, Vol. 2016, 2016, 8 pages.
Publikacja z listy A MNiSW, 20 pkt MNiSW, 2015 Impact Factor 1.01.
- A13. **Lipski A.:** *Accelerated Determination of the Fatigue Limit and the S-N Curve by Means of the Thermographic Method for C45 Steel.* Solid State Phenomena, Vol. 250, 2016, pp. 106-113.
- A14. **Lipski A., Lis Z.:** *Proposition of Low-Cycle Fatigue Test Termination Criterion Based on Specimen Temperature Change.* Solid State Phenomena, Vol. 250, 2016, pp. 114-119.
Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: przeprowadzeniu pomiarów przy zastosowaniu kamery termograficznej CEDIP Silver 420 w trakcie opisanych w pracy prób zmęczeniowych na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8502, opracowaniu i analizie wyników prób zmęczeniowych oraz pomiarów termograficznych, opracowaniu tekstu artykułu i wniosków.
Szacuję, że mój udział w powstanie pracy wynosi 60%.
- A15. **Lipski A.:** *Rapid Determination of the Wöhler's Curve for Aluminum Alloy 2024-T3 by Means of the Thermographic Method.* AIP Conference Proceedings, Vol. 1780, 2016, pp. 020004-1–020004-9.
Praca indeksowana w bazie *Web of Science*, 5 pkt MNiSW.
- A16. **Pejkowski Ł., Skibicki D., Lipski A.:** *Plastic Strain Energy of CuZn37 Brass in Low-Cycle Multiaxial Fatigue Regime.* AIP Conference Proceedings, Vol. 1780, 2016, pp. 030004-1–030004-8.
Praca indeksowana w bazie *Web of Science*, 5 pkt MNiSW.
Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: przeprowadzeniu pomiarów przy zastosowaniu kamery termograficznej CEDIP Silver 420 w trakcie opisanych w pracy prób zmęczeniowych na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8874, opracowaniu i analizie wyników pomiarów termograficznych, współudziale w opracowaniu tekstu artykułu i wniosków.
Szacuję, że mój udział w powstanie pracy wynosi 30%.
- A17. **Lipski A., Skibicki D., Pejkowski Ł.:** *Steady-state temperature determination on the base of hysteresis loop energy for CuZn37 brass.* AIP Conference Proceedings, Vol. 1822, 2017, pp. 020010-1–020010-8.
Praca indeksowana w bazie *Web of Science*, 5 pkt MNiSW.
Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji artykułu, przeprowadzeniu pomiarów przy zastosowaniu kamery termograficznej CEDIP Silver 420 w trakcie opisanych w pracy prób zmęczeniowych na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8874, opracowaniu i analizie wyników pomiarów termograficznych, współudziale w opracowaniu tekstu artykułu i wniosków.
Szacuję, że mój udział w powstanie pracy wynosi 40%.
- A18. **Skibicki D., Lipski A., Pejkowski Ł.:** *Evaluation of plastic strain work and multiaxial fatigue life in CuZn37 alloy by means of thermography method and energy-based approaches of Ellyin and Garud.* Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 2018, doi: 10.1111/ffe.12854 (publikacja dostępna on-line od 14.07.2018 r.).



Publikacja z listy A MNiSW, 30 pkt MNiSW, 2017 Impact Factor 2.533.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: przeprowadzeniu pomiarów przy zastosowaniu kamery termograficznej CEDIP Silver 420 w trakcie opisanych w pracy prób zmęczeniowych na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8874, opracowaniu i analizie wyników pomiarów termograficznych, wyznaczeniu energii odkształcenia plastycznego na podstawie wyników pomiarów termograficznych, współudziale w opracowaniu tekstu artykułu i wniosków.

Szacuję, że mój udział w powstanie pracy wynosi 30%.

3.1.2. Omówienie celu naukowego poszczególnych prac oraz osiągniętych wyników

Przedstawiony do oceny cykl prac obejmuje 18 publikacji naukowych związanych z problemem oceny własności wytrzymałościowych metali przy zastosowaniu termografii podczerwieni. Jego głównym celem naukowym było poszerzenie wiedzy dotyczącej zmiany temperatury materiałów metalowych w trakcie obciążenia monotonicznego i cyklicznego oraz powiązanie tych zmian z własnościami wytrzymałościowymi.

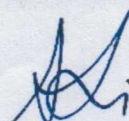
Prace związane ze wspomnianą powyżej tematyką prowadzono w trzech głównych kierunkach:

- zmiany temperatury materiałów metalowych w trakcie obciążenia monotonicznego,
- zmiany temperatury materiałów metalowych w trakcie obciążenia cyklicznego jednoosiowego,
- zmiany temperatury materiałów metalowych w trakcie obciążenia cyklicznego wieloosiowego.

3.1.2.1. Zmiana temperatury materiałów metalowych w trakcie obciążenia monotonicznego

Pierwsze prace z tego zakresu miały charakter rozpoznawczy. W pracy [A1] przedstawiono analizę zmiany temperatury w czasie próby monotonicznego rozciągania stali niewykazującej wyraźnej granicy plastyczności. Wskazano na zgodność zależności opisującej efekt termosprężysty stosowany w klasycznej analizie TSA (*Thermal Stress Analysis*) jedynie dla niewielkiego zakresu odkształcenia próbki oraz na odmienną przebiegu zmiany temperatury w przypadku pojawienia się odkształceń plastycznych. Przedstawiono również możliwość wykrywania obszaru powstającego w próbce przewężenia poprzez analizę termograficzną.

Stwierdzenie różnicy w przebiegu temperatury w trakcie próby monotonicznego rozciągania w momencie pojawienia się odkształceń plastycznych przyczyniło się do bliższego zainteresowania się tym zakresem. W pracy [A2] poddano analizie wyniki prób monotonicznego rozciągania próbek płaskich wykonanych ze stopu aluminium 2024-T3 wyciętych w dwóch kierunkach: zgodnie oraz prostopadle do kierunku walcowania blachy. Podobnie jak w pracy [A1] stwierdzono zbliżony do liniowego spadek temperatury próbki związany z występowaniem efektu termosprężystego, a następnie jej wzrost wynikający z pojawienia się odkształceń plastycznych. W przypadku kierunku wycinania próbek zgodnego z kierunkiem walcowania blachy stwierdzono występowanie wyraźnej granicy plastyczności, a dla kierunku wycinania próbek prostopadłego do kierunku walcowania możliwe było określenie umownej granicy plastyczności. Znalazło to swoje odzwierciedlenie w charakterze



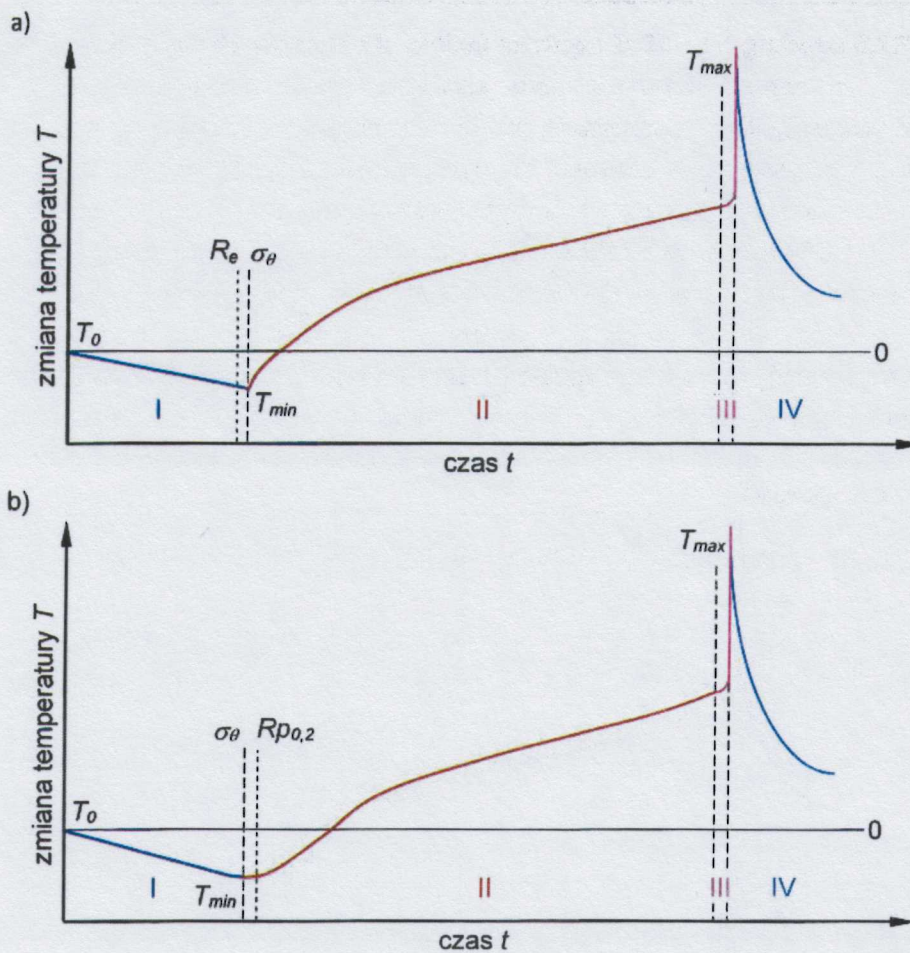
zmiany temperatury w czasie próby w strefie przejściowej pomiędzy termosprężystym chłodzeniem próbki a jej termoplastycznym grzaniem. Zauważono przy tym występowanie korelacji pomiędzy wartością granicy plastyczności a minimalną temperaturą zarejestrowaną w trakcie próby.

Zbieżność granicy plastyczności i minimalnej temperatury zarejestrowanej w czasie próby monotonicznego rozciągania stała się jednym z zagadnień, którym poświęcono uwagę w monografii [A3]. Przedstawiono w niej wyniki badań monotonicznego rozciągania próbek wyciętych z blach z typowych stopów aluminium stosowanych w kraju na konstrukcje lotnicze: stopu 2024-T3 oraz stopu D16 w trzech odmianach (D16CzATW, D16ATW, D16UTW) o różnych grubościach. Próby przeprowadzono na hydraulicznej maszynie wytrzymałościowej w temperaturze pokojowej. Próbki do badań wycięto w dwóch kierunkach: zgodnie z kierunkiem walcowania blachy i prostopadle do tego kierunku. W trakcie badań poddano poszczególne próbki jednoosiowemu rozciągającemu obciążeniu monotonicznie narastającemu aż do ich zniszczenia przy zachowaniu stałej prędkości przemieszczenia uchwytu maszyny wytrzymałościowej. W czasie próby przeprowadzano rejestrację siły obciążającej i przemieszczenia uchwytu maszyny wytrzymałościowej oraz odkształcenia próbki za pomocą ekstensometru. Jednocześnie za pomocą kamery termograficznej rejestrowano polowe rozkłady temperatury powierzchni próbki. Na podstawie uzyskanych wyników badań przeprowadzono analizę zmierzającą do powiązania charakteru przebiegu zmiany temperatury powierzchni próbki z przebiegiem innych zarejestrowanych wielkości. Analiza ta pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- wszystkie badane blachy wykazywały odmienne własności wytrzymałościowe zależne od kierunku walcowania: w kierunku walcowania blachy badane materiały wykazywały wyraźną granicę plastyczności; w większości przypadków w kierunku prostopadłym do kierunku walcowania blachy badane materiały nie wykazywały wyraźnej granicy plastyczności,
- stwierdzono wyraźną korelację pomiędzy charakterem przebiegu temperatury w momencie pojawienia się makroskopowych odkształceń plastycznych próbek: wystąpiło łagodne przejście przez minimum temperatury dla próbek bez wyraźnej granicy plastyczności i ostre dla próbek z wyraźną granicą plastyczności, co potwierdziły sporządzone dla poszczególnych prób wykresy zmiany temperatury w zależności od naprężenia nominalnego,
- wartość naprężenia odpowiadającą minimalnej temperaturze zarejestrowanej w czasie próby przyjęto za wartość granicy termosprężysto-plastycznej σ_0 ,
- dla badanych materiałów stwierdzono, że w przypadku materiałów wykazujących wyraźną granicę plastyczności granica termosprężysto-plastyczna σ_0 jest od niej większa, co może być związane z faktem, że do granicy plastyczności dominuje termosprężyste chłodzenie, natomiast po przekroczeniu granicy plastyczności coraz bardziej istotne staje się termoplastyczne grzanie materiału równoważąc w punkcie odpowiadającym granicy termosprężysto-plastycznej spadek temperatury wywołany efektem termosprężystym,
- w przypadku materiałów, dla których określa się umowną granicę plastyczności granica termosprężysto-plastyczna jest niższa od tej wartości, gdyż w tym przypadku odkształcenie plastyczne o wartości wystarczającej dla zrównoważenia termosprężystego chłodzenia pojawiają się wcześniej niż wynika to z umownie przyjętej wartości granicy plastyczności,
- wartość naprężenia odpowiadająca minimum temperatury może być przy założeniu kilkuprocentowej dokładności stosowana do oszacowania wartości granicy plastyczności,



- stwierdzono szczególnie wyraźne dla próbek ze stopu 2024-T3 o grubości 0,16" wyciętych w kierunku walcowania blachy chwilowe skoki wartości naprężenia i temperatury występujące po przekroczeniu granicy sprężysto-plastycznej; przebieg zmiany temperatury w czasie próby dla kierunku poprzecznego do kierunku walcowania był zdecydowanie bardziej stabilny; zaobserwowaną skokową zmianę naprężenia i temperatury w trakcie prób rozciągania powiązano z efektem Portevin-Le Chatelier'a (tzw. efektem PLC),
- na podstawie przeprowadzonych badań dokonano uogólnienia wykresów zmiany temperatury w funkcji naprężenia nominalnego w czasie monotonicznego rozciągania dla materiałów wykazujących wyraźną granicę plastyczności i niewykazujących tej granicy; przebieg zmiany temperatury w funkcji naprężenia nominalnego podzielono na kilka charakterystycznych etapów (rys. 1):



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie przebiegu zmiany temperatury w czasie monotonicznego rozciągania materiału z wyraźną granicą plastyczności (a) oraz bez wyraźnej granicy plastyczności (b)

- Etap I - Etap odpowiadający sprężystemu odkształcaniu się próbki, dla którego zachodzi liniowa zależność pomiędzy zmianą temperatury a naprężeniem. W przypadku materiałów wykazujących wyraźną granicę plastyczności etap ten kończy się ostrym przejściem pomiędzy zakresem dominującego chłodzenia termosprężystego a zakresem grzania termoplastycznego odpowiadającym granicy termosprężysto-plastycznej σ_{θ} . Wartość granicy termosprężysto-

plastycznej σ_0 jest większa od wartości granicy plastyczności R_e .

W przypadku materiałów nie wykazujących wyraźnej granicy plastyczności etap ten kończy się łagodnym przejściem pomiędzy zakresem dominującego chłodzenia termosprężystego a zakresem grzania termoplastycznego. Wartość granicy termosprężysto-plastycznej σ_0 jest mniejsza od wartości umownej granicy plastyczności $R_{p0,2}$.

- Etap II - Etap odpowiadający plastycznemu odkształcaniu się próbki, przy czym większemu gradientowi naprężenia odpowiada większy gradient temperatury. W przypadku materiałów wykazujących wyraźną granicę plastyczności etap ten rozpoczyna się ostrym wzrostem temperatury. W przypadku materiałów bez wyraźnej granicy plastyczności początek tego etapu stanowi łagodne przejście od etapu I związane z charakterem przejścia naprężenia od sprężystego do plastycznego.
- Etap III - Etap rozwoju makroskopowego pęknięcia próbki. Kończy się gwałtownym wzrostem temperatury do wartości maksymalnej odpowiadającym całkowitemu rozdzieleniu się próbki. Etap ten jest bardzo krótki w porównaniu do pozostałych etapów.
- Etap IV - Etap stygnięcia próbki do temperatury otoczenia po całkowitym rozdzieleniu w wyniku pęknięcia.

Kolejnym zagadnieniem związanym ze zmianą temperatury w trakcie obciążenia monotonicznego, poruszonym w monografii [A3], była analiza wyników próby ściskania próbek wykonanych z drutów na nity ze stopu aluminium PA24 oraz PA25. Próby przeprowadzono w temperaturze pokojowej. W trakcie badań poddano poszczególne próbki jednoosiowemu ściskającemu obciążeniu monotonicznie narastającemu aż do osiągnięcia nadmiernego odkształcenia (tj. zmniejszenia wysokości próbki do 20% jej początkowej wartości). W czasie próby przeprowadzano rejestrację siły obciążającej i przemieszczenia uchwytu maszyny wytrzymałościowej oraz za pomocą kamery termograficznej rejestrowano polowe rozkłady temperatury powierzchni próbki. Na podstawie uzyskanych wyników badań przeprowadzono analizę zmierzającą do powiązania charakteru przebiegu zmiany temperatury powierzchni próbki z przebiegiem innych zarejestrowanych wielkości. Analiza ta pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- odmiennie niż w przypadku rozciągania, gdzie w początkowym okresie obciążenia występował stopniowy spadek temperatury próbki związany z efektem termosprężystym, przebieg zmiany temperatury dla ściskania charakteryzuje się szybkim wzrostem temperatury aż do osiągnięcia wartości obciążenia odpowiadającej granicy plastyczności na ściskanie,
- po przekroczeniu granicy plastyczności tempo wzrostu temperatury próbki uległo istotnemu zmniejszeniu, a następnie stopniowemu wzrostowi proporcjonalnemu do wzrostu przekroju czynnego próbki,
- występujące na wykresach zmiany temperatury załamanie tempa jej przyrostu może być stosowane do oszacowania wartości granicy plastyczności przy ściskaniu.

Podkreślić przy tym należy, że przedstawione w monografii [A3] badania zmiany temperatury podczas próby monotonicznego ściskania stanowią jedną z nielicznych prezentacji wyników badań w tym zakresie.

Zaobserwowane w trakcie próby monotonicznego rozciągania stopu 2024-T3 skokowe zmiany naprężenia i temperatury powiązane z efektem Portevin-Le Chatelier'a (tzw. efekt PLC)

stwierdzono również w przypadku badań mosiądzu CuZn37. W pracy [A8] poddano próbie monotonicznego rozciągania próbki płaskie z różną prędkością przemieszczenia uchwytów maszyny wytrzymałościowej wynoszącą 0,05 mm/s oraz 0,25 mm/s. Oprócz rejestracji typowych parametrów próby, tj. siły, odkształcenia oraz przemieszczenia uchwytów, za pomocą kamery termograficznej rejestrowano polowe rozkłady temperatury powierzchni próbki. Obróbka uzyskanych termogramów pozwoliła na ujawnienie fali cieplnej stanowiącej skutek skokowych zmian odkształcenia próbki wywołanych efektem PLC. Fala ta przemieszczała się wzdłuż osi próbki z prędkością zależną od prędkości przemieszczenia uchwytów maszyny wytrzymałościowej: dla prędkości 0,05 mm/s fala przemieszczała się z prędkością ok. 6 mm/s, dla prędkości 0,25 mm/s z prędkością ok. 140 mm/s. Ponadto stwierdzono, że wraz ze wzrostem prędkości odkształcenia wzrasta częstotliwość pojawiania się fali odkształcenia plastycznego propagującej wzdłuż osi próbki. W przypadku większej prędkości odkształcenia zaobserwować można jednocześnie inicjowanie się dwóch fal propagujących w przeciwnych kierunkach.

Obserwacje dotyczące wpływu prędkości odkształcenia na zachowanie się materiału podczas próby monotonicznego rozciągania, w tym na jego odpowiedź cieplną, stały się tematem pracy [A7]. Badania przeprowadzono na próbkach ze stali 46Cr1 poddanych monotonicznemu rozciąganiu z prędkością przemieszczenia uchwytów maszyny wytrzymałościowej wynoszącą od 0,005 mm/s do 5 mm/s, a więc w warunkach pośrednich pomiędzy warunkami izotermicznymi a adiabatycznymi. Pozwoliły one na podstawie zmiany temperatury próbki określić zmianę jej energii wewnętrznej. Stwierdzono, że wartość pracy wykonanej nad układem nie zależy istotnie od prędkości odkształcenia, natomiast wartość energii wewnętrznej dla badanego materiału wzrasta wraz z prędkością odkształcenia zgodnie z wyznaczoną na podstawie badań funkcją potęgową. Prędkość odkształcenia istotnie wpływa więc na warunki termodynamiczne przeprowadzania prób wytrzymałościowych. Dla małych wartości prędkości odkształcenia stwierdzono, że stosunek przyrostu energii wewnętrznej do pracy wykonanej nad układem nie przekracza kilku procent, warunki więc zbliżone są do izotermicznych. Warunki adiabatyczne uzyskuje się dopiero dla dużych wartości prędkości odkształcenia. Spostrzeżenia te istotne są z punktu widzenia prowadzenia badań zmęczeniowych z wykorzystaniem termografii.

Opisane powyżej zjawiska związane z przebiegiem próby monotonicznego rozciągania potwierdzone zostały w pracy [A4] w odniesieniu do mikropróbek ze stali S355J2G3. Badania przeprowadzono przy zastosowaniu unikalnego systemu MFS do badań wytrzymałościowych mikropróbek oraz kamery termograficznej wyposażonej w obiektyw mikroskopowy. Badaniom podlegały próbki o przekroju części pomiarowej wynoszącej 0,2 mm x 0,2 mm.

W zakresie oceny monotonicznych właściwości wytrzymałościowych metali przy wykorzystaniu termografii podczerwieni wskazać można następujące elementy stanowiące, zdaniem habilitanta, znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej *budowa i eksploatacja maszyn*:

1. Uogólnienia wykresów zmiany temperatury w czasie monotonicznego rozciągania dla materiałów metalowych.
2. Wskazanie na istotną różnicę w przebiegu temperatury w zależności od tego, czy materiał wykazuje wyraźną granicę plastyczności czy nie wykazuje tej granicy.
3. Wskazanie na występującą korelację pomiędzy granicą termosprężysto-plastyczną σ_0 a granicą plastyczności R_e lub $R_{p0,2}$.

4. Przedstawienie unikalnych wyników badań termograficznych dotyczących próby monotonicznego ściskania i wskazanie na występującą korelację pomiędzy załamaniem tempa przyrostu temperatury a granicą plastyczności na ściskanie.
5. Przedstawienie unikalnych w skali kraju wyników badań efektu Portevin-Le Chatelier'a wykonanych przy zastosowaniu termografii podczerwieni.
6. Przedstawienie unikalnych w skali kraju wyników badań wytrzymałościowych mikropróbek wykonanych przy zastosowaniu termografii podczerwieni.

3.1.2.2. Zmiana temperatury materiałów metalowych w trakcie obciążenia cyklicznego jednoosiowego

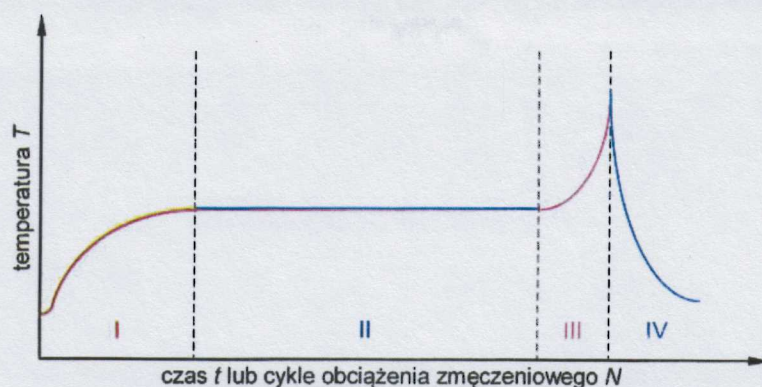
Równoległe z badaniami dotyczącymi powiązania zmiany temperatury materiałów metalowych w trakcie obciążenia monotonicznego z ich własnościami wytrzymałościowymi prowadzone były prace nad zastosowaniem termografii podczerwieni do szacowania własności zmęczeniowych materiałów metalowych.

Pierwsze prace z tego zakresu dotyczyły przyspieszonego wyznaczania granicy zmęczenia.

Najczęściej stosowaną i przyjętą w wielu krajach jako standard metodą wyznaczania granicy zmęczenia jest metoda *Staircase* dająca dosyć dużą dokładność szacowania granicy zmęczenia. Ze względu na liczbę próbek wynoszącą 15-30 charakteryzuje się ona dużą pracochłonnością, a co za tym idzie wysokim kosztem badań. Przykładowo przy badaniu z częstotliwością obciążenia wynoszącą 10 Hz, możliwą do uzyskania na klasycznych hydraulicznych maszynach wytrzymałościowych, badanie pojedynczej próbki dla bazowej liczby cykli wynoszącej 10 mln cykli może trwać ponad 11 dni. Niejednokrotnie wysoki koszt i ich długotrwałość w znaczący sposób zmniejsza zainteresowanie tego typu badaniami ze strony przemysłu. Znacznie krótszy czas badań niż w przypadku badań normatywnych przy wysokiej liczbie próbek (ponad 20) wykazuje metoda *Probit*. W celu ograniczenia czasu badań i liczby próbek opracowano przyspieszone metody wyznaczania granicy zmęczenia, np. *Prota*, *Locati* itp. Metody te charakteryzują się krótkim czasem badań oraz małą liczbą próbek (minimum 3) przy jednocześnie niskiej dokładności szacowania granicy zmęczenia, na co wskazuje dostępna literatura. Wspomnieć należy, iż wspomnianym wyżej metodom wyznaczania granicy zmęczenia brakuje rzetelnych podstaw teoretycznych.

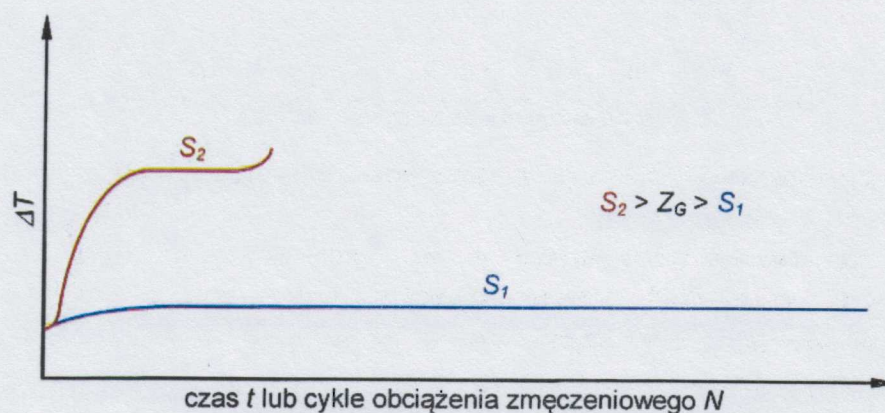
Stosunkowo nowymi metodami wyznaczania granicy zmęczenia, łączącymi dokładność szacowania metodą *Staircase* oraz małą liczbę próbek (teoretycznie badanie przeprowadzić można na 1 próbce, zaleca się jednak badania 3 próbek dla uwzględnienia stochastycznego charakteru procesu zmęczenia), a tym samym charakteryzującymi się istotnym zmniejszeniem czasu i kosztów badań są metody termograficzne. Ogólnie metody termograficzne bazują na pomiarze temperatury powierzchni próbki lub elementu konstrukcyjnego w trakcie próby zmęczeniowej. Zmianę tę podzielić można na cztery fazy (rys. 2):

- a) początkowego wzrostu temperatury (faza I),
- b) stanu równowagi termicznej z otoczeniem (faza II),
- c) gwałtownego wzrostu temperatury (faza III), gdzie za wzrost temperatury odpowiada inicjacja i propagacja pęknięcia zmęczeniowego i związane z nim lokalne spiętrzenie naprężeń,
- d) końcowego spadku temperatury po zerwaniu próbki (faza IV).



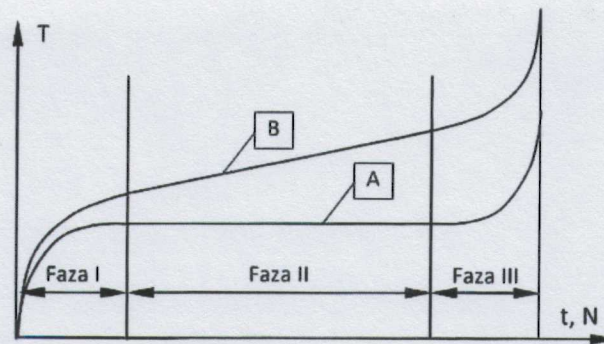
Rys. 2. Schematyczne przedstawienie zmiany temperatury próbki w czasie próby zmęczeniowej

Poziomą temperaturę, jaką ustala się w trakcie stałoamplitudowego obciążenia zmęczeniowego dla stanu równowagi termicznej z otoczeniem (faza II na rys. 2) bezpośrednio zależy od poziomu energii dyssypowanej w pojedynczym cyklu obciążenia. W przypadku obciążeń poniżej granicy zmęczenia przyrost temperatury najcieplejszego rejonu zewnętrznej powierzchni próbki jest mocno ograniczony. W przypadku obciążeń o wartości większej niż granica zmęczenia przyrost temperatury jest znacząco większy (rys. 3).



Rys. 3. Schematyczne porównanie przyrostów temperatury ΔT w trakcie próby zmęczeniowej dla obciążenia S_1 mniejszego i S_2 większego od granicy zmęczenia Z_G

W monografii [A3] zastosowano opisaną w literaturze klasyczną termograficzną metodę wyznaczania granicy zmęczenia bazującą na występowaniu tzw. temperatury stabilizacji w fazie II (tj. poziomego odcinka na wykresie z rys. 2) dla blachy ze stopu aluminium 2024-T3. W metodzie tej poddaje się próbkę stopniowo narastającemu obciążeniu ze stałym krokiem i stałą liczbą cykli realizowaną na każdym z poziomów obciążenia. Niestety określenie tej temperatury dla wspomnianego materiału obciążonego osiowo (współczynnik asymetrii cyklu $R = -1$) okazało się bardzo trudne. Przeprowadzone dotychczas przez habilitanta badania dla różnych materiałów metalowych, dla różnych rodzajów obciążeń zarówno jednoosiowych, jak i wieloosiowych, wskazują, że faza *plateau* w fazie II występuje bardzo rzadko (linia A na rys. 4). Częściej widoczny jest w tej fazie liniowy wzrost temperatury (linia B na rys. 4), tak więc wykorzystanie dotychczas opracowanych metod wyznaczania granicy zmęczenia bazujących na występowaniu okresu stabilizacji staje się znacząco utrudnione lub wręcz niemożliwe.



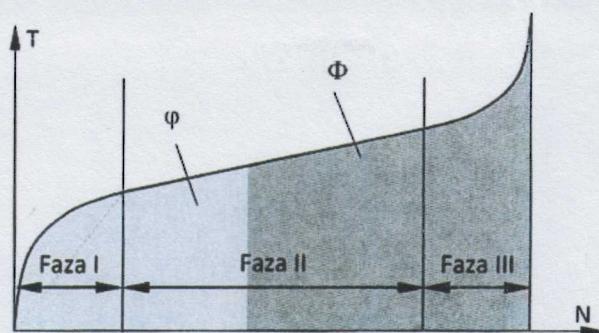
Rys. 4. Zmiana temperatury T w czasie badań zmęczeniowych dla materiału wykazującego w fazie 2 stabilizację temperatury (linia A) lub stałą prędkość przyrostu temperatury (linia B)

Analiza wyników badań przeprowadzonych na próbkach wykonanych ze stali X5CrNi18-10 poddanych obrotowemu zginaniu z częstotliwością 77 Hz wykazała, że w przypadku braku fazy *plateau* w fazie II możliwe jest określenie granicy zmęczenia na podstawie dotychczas nie stosowanego w tym zakresie parametru, jakim jest prędkość przyrostu temperatury. W pracy [A10] zaproponowano nową metodę wyznaczania granicy zmęczenia bazującą na tym parametrze. Zmianę prędkości przyrostu temperatury w zależności od poziomu naprężenia w próbce stopniowego wzrostu obciążenia opisano krzywą drugiego stopnia. Przyjęto, że wartość minimalna tej krzywej wskazuje na wartość granicy zmęczenia. Tak określona wartość wykazywała dużą zgodność z wartością granicy zmęczenia wyznaczoną na podstawie metody *Staircase* przyjętej jako wartość odniesienia. Badania przy zastosowaniu przyspieszonej metody termograficznej przeprowadzone przy zastosowaniu trzech próbek wykazały, że statystycznego punktu widzenia, zgodność wyników obu metod przy istotnie mniejszej pracochłonności i koszcie badań przyspieszonych.

Modyfikację przedstawionej metody przyspieszonego wyznaczania granicy zmęczenia na podstawie prędkości przyrostu temperatury przedstawiono w pracach [A11, A13]. Lepszą zgodność wyników badań przyspieszonych z wynikami metody *Staircase* uzyskano na wykresie przedstawiającym zależność prędkości przyrostu temperatury w zależności od poziomu obciążenia dzięki wprowadzeniu skali logarytmicznej dla osi prędkości. Punkt przecięcia na tym wykresie dwóch linii prostych opisujących spadek prędkości dla poziomów poniżej granicy zmęczenia oraz wzrost prędkości dla poziomów powyżej granicy zmęczenia przyjęto, analogicznie jak w klasycznych metodach przyspieszonych bazujących na wynikach pomiarów temperatury, jako wartość granicy zmęczenia.

Oprócz przyspieszonego wyznaczania metodą termograficzną wartości granicy zmęczenia w ostatnim czasie pojawiły się prace pokazujące możliwość wyznaczania tą metodą wykresu zmęczeniowego S-N. Badania własne habilitanta oraz obserwacje dotyczące przebiegu zmian temperatury próbek w trakcie obciążeń zmiennych jednoosiowych oraz analiza dotychczas zaproponowanych metod wskazała na ich istotne wady:

- podobnie jak w przypadku przyspieszonego wyznaczania granicy zmęczenia metodą termograficzną zakłada się występowanie fazy *plateau* ($T_s = \text{const}$) w fazie II (rys. 2 i rys. 4),
- zakłada się, że pole pod krzywą T-N (rys. 5), będące miarą parametru energetycznego Φ stanowiącego pochodną energii dyssypowanej, jest stałe i niezależne od poziomu obciążenia, tj. $\Phi = T_s \cdot N = \text{const}$ na każdym poziomie obciążenia.

Rys. 5. Schematyczne przedstawienie parametru energetycznego Φ i φ

Liczne badania realizowane zarówno w zespole, do którego należy habilitant, jak i dane literaturowe wskazują na zależność energii dyssypowanej od poziomu obciążenia.

W związku z powyższym opracowana została przez habilitanta własna metoda przyspieszonego wyznaczania wykresu zmęczeniowego S-N pozbawiona wyżej wskazanych niedogodności. Metoda ta opera się na następujących założeniach:

- badania prowadzi się zgodnie z metodą stopniowego wzrostu obciążenia realizując stałą liczbę cykli na każdym poziomie obciążenia; bazuje więc ona na tym samym badaniu co metoda wyznaczania granicy zmęczenia - w związku z powyższym możliwe jest jednoczesne wyznaczanie metodą termograficzną zarówno granicy zmęczenia, jak i wykresu S-N,
- w trakcie badania wyznacza się wartość parametru energetycznego φ stanowiącego część całkowitej wartości Φ tego parametru na danym poziomie obciążenia,
- wartość parametru Φ powiązana jest w układzie bilogarytmicznym z poziomem obciążenia S_a za pomocą funkcji o postaci bazującej na zależności Basquina,
- do powiązania wartości parametru φ i Φ stosuje się hipotezę Palmgrena-Minera w jej energetycznej postaci,
- wartość parametru φ ustala się na podstawie numerycznego całkowania pola pod krzywą T-N, a więc możliwa jest dowolna postać tej krzywej.

Zaproponowaną metodę zweryfikowano na próbkach:

- wykonanych ze stali C45 poddanych obrotowemu zginaniu ($R = -1$) z częstotliwością 77 Hz [A9, A12],
- wykonanych ze stali X5CrNi18-10 poddanych obrotowemu zginaniu ($R = -1$) z częstotliwością 77 Hz [A11, A12],
- wykonanych ze stopu aluminium 2024-T3 poddanych osiowemu rozciąganiu-ściskaniu ($R = -1$) z częstotliwością 10 Hz [A15],
- wykonanych z żeliwa sferoidalnego EN-GJS-500-7 poddanych osiowemu rozciąganiu-ściskaniu ($R = -1$) z częstotliwością 20 Hz.

W każdym z powyższych przypadków otrzymano dobrą zgodność wykresu zmęczeniowego wyznaczonego metodą termograficzną na 3 próbkach z wykresem otrzymanym metodą klasyczną na kilkunastu-kilkudziesięciu próbkach przy jednoczesnym istotnym ograniczeniu liczby badanych próbek i czasu badania, a więc istotnym ograniczeniu kosztów tych badań. Zgodność ta dotyczyła zarówno współczynnika nachylenia wykresu zmęczeniowego, jak i w większości przypadków jego położenia w przedziale ufności dla wykresu zmęczeniowego otrzymanego metodą klasyczną, stanowiącego element odniesienia dla wykresu otrzymanego metodą przyspieszoną.

W pracy [A9] wyznaczony wykres S-N stał się podstawą do określenia wartości granicy zmęczenia metodą *Locati* bazując na wynikach uzyskanych podczas próby termograficznej.

W pracach [A11, A13] jednocześnie wyznaczono zaproponowaną metodą termograficzną wykres zmęczeniowy S-N, jak również opisaną uprzednio metodą wartość granicy zmęczenia.

Oprócz zaproponowanej metody przyspieszonego termograficznego wyznaczania granicy zmęczenia oraz wykresu zmęczeniowego w zakresie badań dotyczących zmęczenia jednoosiowego sformułowano nową propozycję kryterium końca niskocyklowej próby zmęczeniowej bazującą na zmianie temperatury próbki. Kryterium to zostało zweryfikowane w pracy [A14] na próbkach ze staliwa G-X12CrMoVNbN9-1 (GP91) poddanych niskocyklowemu obciążeniu osiowemu ($R = -1$) z częstotliwością $f = 0,2 \div 0,5$ Hz. Uzyskano dobrą zgodność zaproponowanego kryterium z dotychczas stosowanymi przy jednoczesnej prostocie jego stosowania.

W zakresie oceny zmęczeniowych własności wytrzymałościowych metali przy obciążeniu cyklicznym jednoosiowym przy zastosowaniu termografii podczerwieni wskazać można następujące elementy stanowiące, zdaniem habilitanta, znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej *budowa i eksploatacja maszyn*:

1. Przedstawienie unikalnych w skali kraju wyników badań termograficznych materiałów metalowych poddanych obciążeniom cyklicznym.
2. Zaproponowanie nowej przyspieszonej metody wyznaczania granicy zmęczenia w oparciu o pomiar temperatury próbki dla materiałów niewykazujących fazy *plateau* w trakcie obciążenia zmęczeniowego.
3. Zaproponowanie nowej przyspieszonej metody wyznaczania wykresu zmęczeniowego S-N w oparciu o pomiar temperatury próbki dla materiałów nie wykazujących fazy *plateau* w trakcie obciążenia zmęczeniowego oraz przy założeniu istnienia związku pomiędzy energią dyssypacji a poziomem obciążenia zmęczeniowego.
4. Obie zaproponowane metody bazują na wynikach jednej próby stopniowego wzrostu obciążenia. Możliwe jest więc ich jednoczesne stosowanie.
5. Oparcie przyspieszonej metody wyznaczania wykresu zmęczeniowego S-N na próbie stopniowego wzrostu obciążenia pozwala na zastosowanie zarówno jej wyników, jak i parametrów dotyczących próby jako danych wejściowych dla wyznaczania granicy zmęczenia innymi metodami, np. *Locati*, dla której wymagana jest znajomość współczynnika nachylenia wykresu zmęczeniowego.
6. Zaproponowanie nowego termograficznego kryterium końca próby niskocyklowej.

3.1.2.3. Zmiana temperatury materiałów metalowych w trakcie obciążenia cyklicznego wieloosiowego

Równoległe z badaniami dotyczącymi zastosowania termografii podczerwieni w badaniach zmęczeniowych materiałów metalowych przy obciążeniu jednoosiowym prowadzone były prace dotyczące zmęczeniowych obciążeń wieloosiowych.

Pierwsze prace z tego zakresu [A5, A6] pozwoliły na powiązanie zmiany temperatury średniej próbek w cyklu zmęczeniowym z wartością energii odkształcenia plastycznego. Badania przeprowadzono na próbkach ze stali X2CrNiMo17-12-2 dla następujących rodzajów obciążenia:

- rozciągania-ściskania ($R = -1$),
- skręcania ($R = -1$),
- proporcjonalnego rozciągania-ściskania i skręcania (stosunek amplitud $\lambda = \epsilon_a/\gamma_a = 0,5$),
- dwóch przypadków nieproporcjonalnego rozciągania-ściskania i skręcania (stosunek amplitud $\lambda = 0,5$ lub $\lambda = 0,826$ oraz kąt przesunięcia fazowego $\varphi = 90^\circ$).

Badania dotyczące zmęczenia wieloosiowego kontynuowano w pracy [A16] na próbkach rurowych z mosiądzu CuZn37 poddanych sześciu rodzajom obciążenia:

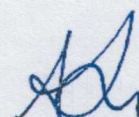
- rozciąganie-ściskanie ($R = -1$),
- skręcanie ($R = -1$),
- proporcjonalne rozciąganie-ściskanie i skręcanie (stosunek amplitud $\lambda = \varepsilon_a/\gamma_a = 0,5$),
- nieproporcjonalne rozciąganie-ściskanie i skręcanie (stosunek amplitud $\lambda = 1$, kąt przesunięcia fazowego $\varphi = 90^\circ$),
- nieproporcjonalne rozciąganie-ściskanie i skręcanie (stosunek amplitud $\lambda = 1$, stosunek częstotliwości obciążenia $f_x/f_y = 0,5$),
- nieproporcjonalne rozciąganie-ściskanie i skręcanie (stosunek amplitud $\lambda = 1$, stosunek częstotliwości obciążenia $f_x/f_y = 2$).

Łącznie badaniom poddano 23 próbki, przy czym program badań obejmował różne poziomy odkształcenia ekwiwalentnego w cyklu. W czasie prób przeprowadzano rejestrację siły obciążającej i momentu skręcającego, przemieszczenia uchwytu maszyny wytrzymałościowej oraz odkształcenia liniowego i postaciowego próbki za pomocą ekstensometru dwuosowego. Jednocześnie za pomocą kamery termograficznej rejestrowano połowe rozkłady temperatury powierzchni próbki.

Przeprowadzone badania wykazały, że możliwe jest na podstawie analizy termograficznej i zaprezentowanego modelu termodynamicznego określenie wartości energii odkształcenia plastycznego dla obciążeń jednoosiowych, jak i dla obciążeń wieloosiowych, zarówno proporcjonalnych, jak i nieproporcjonalnych. Energia określona na podstawie analizy termograficznej była bardzo dobrze skorelowana z wartością energii odkształcenia plastycznego określoną na podstawie analizy zarejestrowanych pętli histerezy. Jednocześnie stwierdzono trudności w określeniu temperatury stabilizacji w fazie II (rys. 2), gdyż w większości przypadków zarejestrowano odmienne zachowanie materiału w trakcie badań.

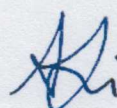
Powyższe spostrzeżenie stało się podstawą pracy [A17], w której na podstawie energii odkształcenia plastycznego określonej na podstawie zarejestrowanych pętli histerezy i przyjętego modelu termodynamicznego wyznaczono wartość teoretycznej temperatury stabilizacji w próbie zmęczeniowej. Analiza wyników uzyskanych w ramach realizacji badań przedstawionych w pracach [A16, A17] pozwoliła na wyciągnięcie wniosków dotyczących ustalania temperatury stabilizacji w przyjętym modelu termodynamicznym. Wykazano, że temperatura ta może być określana jako temperatura przejścia pomiędzy fazą I i fazą II (rys. 2) niezależnie od charakteru przebiegu zmiany temperatury próbki w fazie II: występowania okresu *plateau* czy też wzrostu lub spadku temperatury. W zależności od tego charakteru dokonano uogólnienia i wyróżniono trzy przypadki przebiegu zmiany temperatury w fazie II.

Powyższe wnioski wykorzystano w pracy [A18], gdzie zaprezentowano wyniki badań mosiądzu CuZn37 dla ośmiu przypadków obciążenia: sześciu takich jak przedstawiono powyżej w pracach [A16, A17] uzupełnionych o dwie nowe ścieżki obciążenia. Łącznie badaniom poddano 47 próbek, przy czym program badań obejmował różne poziomy odkształcenia ekwiwalentnego w cyklu. Analiza termograficzna zaproponowaną metodą umożliwiła wyznaczenie energii odkształcenia plastycznego z wysoką dokładnością, często wyższą niż klasyczna analiza pętli histerezy dla 50% trwałości zmęczeniowej próbki. Wysoka dokładność szacowania uzyskana została zarówno dla obciążenia jednoosiowego, jak i wieloosiowego proporcjonalnego i nieproporcjonalnego, w szczególności dla obciążeń asynchronicznych.



W zakresie oceny zmęczeniowych własności wytrzymałościowych metali przy obciążeniu wieloosiowym przy zastosowaniu termografii podczerwieni wskazać można następujące elementy stanowiące, zdaniem habilitanta, znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej *budowa i eksploatacja maszyn*:

1. Przedstawienie unikalnych, nie tylko w skali kraju, wyników badań termograficznych dla szerokiego spektrum obciążeń zmęczeniowych jednoosiowych i wieloosiowych obejmujących obciążenia proporcjonalne, nieproporcjonalne i asynchroniczne.
2. Zaproponowanie modelu termodynamicznego umożliwiającego wyznaczenie całkowitej wartości energii odkształcenia plastycznego w przypadku obciążeń jedno- i wieloosiowych.
3. Zaproponowanie metodyki wyznaczania temperatury stabilizacji θ_s dla zaproponowanego modelu termodynamicznego na podstawie jej przebiegu w czasie próby zmęczeniowej, przy czym dokonano uogólnienia tego przebiegu wyróżniając trzy podstawowe przypadki.



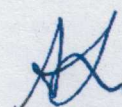
4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

Moje zainteresowania naukowo-badawcze obejmują szeroki obszar związany z wyznaczaniem własności wytrzymałościowych materiałów i konstrukcji, głównie z zagadnieniami:

- zastosowania metod numerycznych w procesie konstruowania, w tym metody elementów skończonych (MES),
- opisu własności wytrzymałościowych materiałów, w tym głównie dotyczących zmęczenia,
- doświadczalnego wyznaczania i poprawy własności zmęczeniowych konstrukcji,
- przyspieszonych metod wyznaczania własności zmęczeniowych materiałów.

Pierwsze zagadnienie dotyczące zastosowania metod numerycznych jest bezpośrednią kontynuacją moich zainteresowań wynikających z realizacji pracy magisterskiej, w której przeprowadzono symulacje numeryczne działania napędu pulsacyjnego wykorzystującego niestabilny zakres pracy podpory hydrostatycznej w oparciu o własne oprogramowanie umożliwiające rozwiązanie układu ośmiu równań opisujących model dynamiczny siłownika hydraulicznego przy pomocy algorytmu rozwiązywania układów równań różniczkowych Fehlbarga. Praca ta została zaprezentowana na konferencji. Doświadczenia zdobyte w trakcie rozwiązywania powyższego zagadnienia stały się podstawą do opracowania własnych programów umożliwiających współpracę z oprogramowaniem do obliczeń metodą elementów skończonych ANSYS, przeznaczonych do obliczeń z zakresu mechaniki pęknięcia, głównie w odniesieniu do numerycznego wyznaczania trwałości zmęczeniowej w okresie propagacji pęknięcia zmęczeniowego. W ramach pracy doktorskiej przedstawiłem możliwości zastosowania metody elementów skończonych do analizy rozkładów odkształceń i naprężeń złożonych elementów konstrukcyjnych, a następnie ich wykorzystania do wyznaczania trwałości zmęczeniowej. Po uzyskaniu stopnia doktora metoda elementów skończonych (środowisko ABAQUS) wykorzystywana była jeszcze przeze mnie wielokrotnie w ramach prac realizowanych dla przemysłu, w tym m.in. w procesie projektowo-konstrukcyjnym dźwignika kombajnu HERCULES wdrożonego do produkcji przez firmę Champion z Grudziądza, składanych plastikowych palet transportowych wdrożonych do produkcji przez firmę Form-Plast S.A. z Bydgoszczy, siedzenia łazienkowego dla niepełnosprawnych wdrożonego przez firmę ADA ze Żnina. W ramach projektu INNOTECH realizowanego wspólnie z firmą PESA S.A. z Bydgoszczy przeprowadziłem również szeroki program symulacji numerycznych ramy wózka pojazdu szynowego, stanowiących podstawę badań doświadczalnych tych konstrukcji. Metoda elementów skończonych została również wykorzystana przeze mnie w opracowanej wspólnie z dr. hab. inż. Dariuszem Borońskim z UTP w Bydgoszczy hybrydowej doświadczalno-numerycznej metodzie wyznaczania rozkładów odkształceń i naprężeń.

W ramach drugiego zagadnienia dotyczącego opisu własności wytrzymałościowych materiałów zaproponowałem trzy nowe opisy dwuparametrycznych charakterystyk zmęczeniowych oraz opracowałem oprogramowanie umożliwiające ich praktyczne zastosowanie w obliczeniach elementów konstrukcyjnych poddanych obciążeniom eksploatacyjnym. Przeprowadziłem również weryfikację możliwości zastosowania uproszczonych metod wyznaczania wykresu zmęczeniowego bazujących na wynikach badań monotonicznych dla lotniczych stopów aluminium.



W zakresie zagadnienia trzeciego w ramach kierowanego przeze mnie projektu badawczego EUREKA-IMPERJA opracowano technologię poprawy własności zmęczeniowych połączeń nitowych stosowanych w konstrukcjach lotniczych. W ramach projektu INNOTECH uczestniczyłem w opracowaniu metodyki badań konstrukcji wielkogabarytowych w zakresie złożonych obciążeń eksploatacyjnych.

W okresie po doktoracie kierowałem międzynarodowym projektem badawczym EUREKA-IMPERJA realizowanym w ramach konsorcjum wraz z Instytutem Lotnictwa w Warszawie, Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie, Wojskową Akademią Techniczną w Warszawie oraz firmami: Polskie Zakłady Lotnicze Sp. z o.o. - PZL Mielec, spółka zależna Sikorsky Aircraft Corporation, Stresstech Oy (Finlandia), Evektor s.r.o. (Czechy). Ponadto byłem głównym wykonawcą i wykonawcą w 7 projektach KBN i NCBiR.

W zakresie współpracy z przedsiębiorstwami po doktoracie kierowałem zespołem realizującym 32 prace wykonane na zlecenie przemysłu oraz byłem wykonawcą w 4 kolejnych. Oprócz wspomnianych powyżej prac zrealizowanych przy zastosowaniu metod numerycznych jestem współrealizatorem opracowań konstrukcyjnych dźwignika dźwigniowego o udźwigu 15 ton zrealizowanego przy Operze Nova w Bydgoszczy oraz żurawia słupowego obrotowego zrealizowanego dla Przedsiębiorstwa Wielobranżowego GALKOR w Koronowie.

W okresie po doktoracie wykonałem 11 recenzji publikacji dla międzynarodowych i krajowych czasopism naukowych (*Impact Factor* od 0,848 do 4,37).

Zainteresowanie przyspieszonymi metodami wyznaczania własności zmęczeniowych materiałów, stanowiące część osiągnięcia naukowego przedstawionego do oceny w ramach niniejszego autoreferatu, wynika bezpośrednio z faktu mojej pracy w akredytowanym przez Polskie Centrum Akredytacji Instytutowym Laboratorium Badań Materiałów i Konstrukcji (akredytacja PCA nr AB 372), w którym pełnię funkcję kierownika ds. jakości / zastępcy kierownika i związane jest z oczekiwaniami naszych Klientów pochodzących z przemysłu, którzy niejednokrotnie oczekują prowadzenia badań zmęczeniowych na akceptowalnym przez nich poziomie kosztów i w znacząco krótszym czasie w porównaniu do metod klasycznych przy jednoczesnej zgodzie na zmniejszenie poziomu zaufania do uzyskanych wyników.

Dla zwiększenia poziomu zaufania odnośnie metodyki prowadzenia badań, oprócz szkoleń wymaganych akredytacją laboratorium, uzyskałem międzynarodowy certyfikat z zakresu badań termograficznych ITC Level 1.



5. Zbiorcze zestawienie opublikowanych prac naukowych

Wyszczególnienie	Przed doktoratem	Po doktoracie	Ogółem
1. Rozprawy i monografie	1	1	2
2. Publikacje w czasopismach naukowych z listy A	0	6	6
3. Publikacje w czasopismach naukowych spoza listy A indeksowanych w bazie WoS	0	8	8
4. Publikacje w czasopismach naukowych z listy B	0	10	10
5. Publikacje w pozostałych czasopismach	2	5	7
6. Publikacje w materiałach konferencyjnych	12	43	55
łącznie	15	73	88

Sumaryczny *Impact Factor* publikacji wg listy *Journal Citation Reports (JCR)*: **4,526 (7,059)^a**

łączna liczba punktów MNiSW: **258 (288)^a**

^a Publikacja dostępna *on-line* od 14.07.2018 r. jeszcze nie wykazywana w bazie *Web of Science* oraz *Scopus*, ujęta w bazie *Google Scholar*:

Skibicki D., Lipski A., Pejkowski Ł.: *Evaluation of plastic strain work and multiaxial fatigue life in CuZn37 alloy by means of thermography method and energy-based approaches of Ellyin and Garud*. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 2018, doi: 10.1111/ffe.12854.

Bibliometria wg bazy *Web of Science Core Collection*:

▪ Liczba publikacji:	13
▪ H-indeks:	4
▪ Liczba cytowań:	32

Bibliometria wg bazy *Web of Science Cited Reference Search in All Databases*:

▪ Liczba publikacji:	23
▪ H-indeks:	5
▪ Liczba cytowań:	68

Bibliometria wg bazy *Scopus*:

▪ Liczba publikacji:	20
▪ H-indeks:	6
▪ Liczba cytowań:	75

Bibliometria wg bazy *Google Scholar*:

▪ Liczba publikacji:	48
▪ H-indeks:	7
▪ i10-indeks:	3
▪ Liczba cytowań:	127

Citation report for 13 results from Web of Science Core Collection between 1945 and 2019 Go

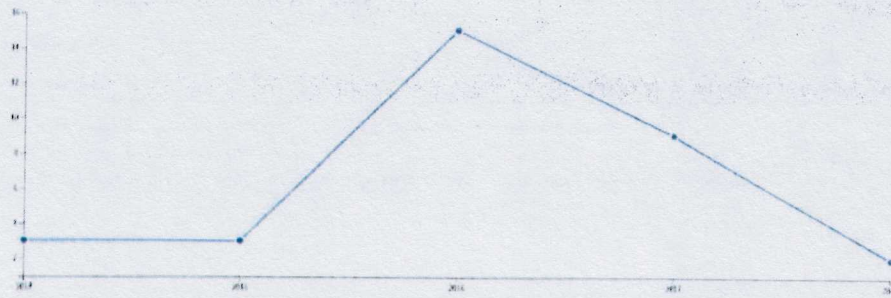
You searched for: AUTHOR: (lipka) AND ADDRESS: (bydgoszcz) More

This report reflects citations to source items indexed within Web of Science Core Collection. Perform a Cited Reference Search to include citations to items not indexed within Web of Science Core Collection.

Report Tools Save to Excel File

Total Publications 13 Analyze	h-index 4	Sum of Times Cited 32	Citing articles 16 Analyze
	Average citations per item 2,46	Without self citations 8	Without self citations 8 Analyze

Sum of Times Cited per Year



Sort by: Times Cited Date Max Page 1 of 1

Use the checkboxes to choose individual items from this citation report

or restrict to items published between 1945 and 2019 Go

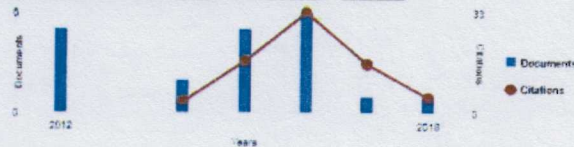
	2015	2016	2017	2018	2019	Total	Average Citations per Year
1. Variations Of The Specimen Temperature Depending On The Pattern Of The Multiaxial Load - Preliminary Research By: Lipka, Adam; Skibiński, Dariusz Conference: 24th Symposium on Fatigue Failure and Fracture Mechanics Location: Bydgoszcz, Poland Date: MAY 22-26, 2012 Sponsor(s): Polish Acad Sci; Univ Technol & Life Sci FATIGUE FAILURE AND FRACTURE MECHANICS Book Series: Materials Science Forum Volume: 726 Pages: 162-168 Published: 2012	1	4	1	0	0	6	1.14
2. Impact Of The Strain Rate During Tension Test On 46Cr3 Steel Temperature Change By: Lipka, Adam Conference: 14th Polish Conference on Fracture Mechanics and Fatigue Location: Lodz, Poland Date: SEP 23-26, 2013 Sponsor(s): Polish Acad Sci; Univ Technol & Life Sci FATIGUE FAILURE AND FRACTURE MECHANICS Book Series: Key Engineering Materials Volume: 558 Pages: 133-140 Published: 2014	1	4	1	0	0	6	1.20
3. ACCELERATED DETERMINATION OF THE FATIGUE LIMIT AND THE S-N CURVE BY MEANS OF THE THERMOGRAPHIC METHOD FOR X5CrNi18-10 STEEL By: Lipka, Adam RESEARCH IN AUTOMATION Volume: 10 Issue: 1 Pages: 22-22 Published: MAR 2016	0	1	2	1	0	5	1.67
4. Use of Thermography for the Analysis of Strength Properties of Mini-Specimens By: Lipka, Adam; Skibiński, Dariusz Conference: 24th Symposium on Fatigue Failure and Fracture Mechanics Location: Bydgoszcz, Poland Date: MAY 22-26, 2012 Sponsor(s): Polish Acad Sci; Univ Technol & Life Sci FATIGUE FAILURE AND FRACTURE MECHANICS Book Series: Materials Science Forum Volume: 726 Pages: 156-161 Published: 2012	1	1	0	0	0	2	0.71
5. Method for processing of the results of low-cycle fatigue tests By: Hosiński, S.; Lipka, A. MATERIALS SCIENCE Volume: 49 Issue: 1 Pages: 81-86 Published: JUN 2012	0	1	1	1	0	3	0.81
6. Rapid Determination of the Wohler's Curve for Aluminum Alloy 2024-T3 by Means of the Thermographic Method By: Lipka, Adam Conference: 24th Polish National Conference on Fatigue Failure and Fracture Mechanics Location: Lodz, Poland Date: MAY 17-20, 2016 Sponsor(s): Polish Acad Sci; Comp Machinery Design; ITP Univ Sci & Technol; Inst Mech & Machinery Design FATIGUE FAILURE AND FRACTURE MECHANICS XXXI Book Series: AIP Conference Proceedings Volume: 1280 Article Number: 010501 Published: 2016	0	0	1	0	0	1	0.31
7. Plastic Strain Energy of CuZn37 Brass in Low-Cycle Multiaxial Fatigue Regime By: Polonski, Janusz; Skibiński, Dariusz; Lipka, Adam Conference: 24th Polish National Conference on Fatigue Failure and Fracture Mechanics Location: Lodz, Poland Date: MAY 17-20, 2016 Sponsor(s): Polish Acad Sci; Comp Machinery Design; ITP Univ Sci & Technol; Inst Mech & Machinery Design FATIGUE FAILURE AND FRACTURE MECHANICS XXXI Book Series: AIP Conference Proceedings Volume: 1280 Article Number: 010004 Published: 2016	0	0	1	0	0	1	0.31
8. Rapid Determination of the S-N Curve for Steel by means of the Thermographic Method By: Lipka, Adam	0	1	0	0	0	1	0.31

Author details

About Scopus Author Identifier

[Return to search results](#) [Previous](#) 2 of 31 [Next](#)[Print](#) [Email](#)

Lipksi, Adam

UTP University of Science and Technology,
Bydgoszcz, Poland
Author ID: 51864364700<https://orcid.org/0000-0002-6687-1621>Other name formats: [Lipksi, A.](#)Subject area: [Engineering](#) [Physics and Astronomy](#) [Materials Science](#) [Mathematics](#)Document and
citation trends:[Get citation alerts](#) [Add to ORCID](#) [Request author details corrections](#) [Export profile to SciVal](#)

Follow this Author

h-Index: 6

[View h-graph](#)[View potential author matches](#)

Documents by author

20

[Analyze author output](#)

Total citations

75 by 43 documents

[View citation overview](#)

20 Documents Cited by 43 documents 6 co-authors Author history

[View in search results format](#)

Sort on: Cited by (highest)

[Export all](#) [Add all to list](#) [Set document alert](#) [Set document feed](#)

Document title	Authors	Year	Source	Cited by
Variations of the specimen temperature depending on the pattern of the multiaxial load - Preliminary research	Lipksi, A., Skibicki, D.	2012	Materials Science Forum 726, pp. 162-168	11
View abstract View at Publisher Related documents				
The effects of temperature on the strength properties of aluminium alloy 2024-T3	Lipksi, A., Mrozinski, S.	2012	Acta Mechanica et Automatica 6(3), pp. 62-66	11
View abstract Entitled Full Text (opens in a new window) Related documents				
Impact of the strain rate during tension test on 46Cr1 steel temperature change	Lipksi, A.	2014	Key Engineering Materials 598, pp. 133-140	9
View abstract View at Publisher Related documents				
Use of thermography for the analysis of strength properties of mini-specimens	Lipksi, A., Baronski, D.	2012	Materials Science Forum 726, pp. 156-161	8
View abstract View at Publisher Related documents				
Method for processing of the results of low-cycle fatigue tests	Mrozinski, S., Lipksi, A.	2012	Materials Science 48(1), pp. 83-88	8
View abstract View at Publisher Entitled Full Text (opens in a new window) Related documents				
Approximate determination of a strain-controlled fatigue life curve for aluminum alloy sheets for aircraft structures	Lipksi, A., Mrozinski, S.	2012	International Journal of Fatigue 39, pp. 2-7	7
View abstract View at Publisher Related documents				
Determination of fatigue limit by local method using S-N curve determined by means of thermographic method	Lipksi, A.	2015	Solid State Phenomena 223, pp. 362-373	6
View abstract View at Publisher Related documents				
Accelerated determination of the fatigue limit and the s-n curve by means of the thermographic method for x8crn18-10 steel	Lipksi, A.	2016	Acta Mechanica et Automatica 10(1), pp. 22-27	5
Open Access				
View abstract View at Publisher Entitled Full Text (opens in a new window) Related documents				
Rapid Determination of the S - N Curve for Steel by means of the Thermographic Method	Lipksi, A.	2016	Advances in Materials Science and Engineering 2016,413-4021	4
Open Access				

Adi

Dodaj zdjęcie
Wstaw zdjęcie profilowe

Dodaj współautorów
Wstaw sugestie na temat współautorów

DODAJ

DODAJ



Adam Lipski ✓
UTP University of Science and Technology
Zweryfikowany adres z utp.edu.pl
fatigue of materials thermography

OBSERWUJ

Cytowane przez WYŚWIETL WSKAZNIKI

	Wszystkie	Od 2013
Cytowana liczba indeksów	127	118
h5-index	7	7
h5-index	3	3

TYTUŁ

CYTOWANE PRZEZ ROK

Tytuł	Cytowane przez	Rok
The effects of temperature on the strength properties of aluminum alloy 2024-T3 A. Lipski, S. Mroczka Archives of Metallurgy and Materials 61, 80-88	17	2012
Variations of the Specimen Temperature Depending on the Pattern of the Multiaxial Load- Preliminary Research A. Lipski, G. Szymanski Materials Science Forum 129, 160-163	12	2012
Accelerated Determination of Fatigue Limit and SN Curve by Means of Thermographic Method for X5CrNi18-10 Steel A. Lipski Archives of Metallurgy and Materials 61(1), 22-27	11	2016
Impact Of The Strain Rate During Tension Test On 46Cr1 Steel Temperature Change A. Lipski Key Engineering Materials 590	5	2014
Use of Thermography for the Analysis of Strength Properties of Mini-Specimens A. Lipski, G. Szymanski Materials Science Forum 126, 410-413	9	2012
Method for processing of the results of low-cycle fatigue tests S. Mroczka, A. Lipski Materials Science 45(1), 13-21	3	2012
Approximate determination of a strain-controlled fatigue life curve for aluminum alloy sheets for aircraft structures A. Lipski, G. Szymanski International Journal of Fatigue 34, 2	7	2012
Rapid Determination of the S-N Curve for Steel by means of the Thermographic Method A. Lipski Archives of Metallurgy and Materials Engineering	5	2016
Fatigue life, fractographic and thermographic analysis of steel X2CrNiMo17-12-2 for proportional and non-proportional loads A. Lipski, G. Szymanski, A. Lipski Journal of Materials Processing Technology 219, 1-10	5	2013
Determination of Fatigue Limit by Local Method using S-N Curve Determined by Means of Thermographic Method A. Lipski Archives of Metallurgy and Materials Engineering 10(1), 157-173	5	2016
The use of passive infrared thermography for tests of materials and riveted joints used in aviation industry- selected problems A. Lipski, G. Szymanski, A. Lipski Institute For Innovative Technologies	5	2012
Temperature changes induced by the Portevin-Le Châtelier (PLC) effect during tensile test based on the example of CuZn37 brass A. Lipski, G. Szymanski Steel State Phenomena 204	4	2014
Evaluation of the rivet hole sizing degree effect on the fatigue life A. Lipski, G. Szymanski, G. Lipski Journal of Polish OMAE 6(1), 119-121	4	2011
Thermographic Method Based Accelerated Fatigue Limit Calculation for Steel X5CrNi18-10 Subjected to Rotating Bending A. Lipski Polish Materials Research 22(1), 54-62	3	2016
Numeryczna symulacja procesu kalibrowania otworu pod nit A. Lipski, S. Mroczka KAD Sympozyjum Podstaw Konstrukcyjnej Mechaniki 316-318	3	2009
Eksperymentalna analiza kalibracji otworów nitowych S. Mroczka, A. Lipski KAD Sympozyjum Podstaw Konstrukcyjnej Mechaniki 309-304	3	2009
Rapid determination of the Wohler s curve for aluminum alloy 2024-T3 by means of the thermographic method A. Lipski AICh Conference Proceedings 1762(1), 020004	2	2016
Improving Fatigue Life of Riveted Joints by Rivet Hole Sizing A. Lipski, G. Szymanski Key Engineering Materials 602, 141-145	2	2014
Method of low-cycle fatigue test results processing S. Mroczka, A. Lipski Dopierożenie Materiałów 19(82)	2	2012
Evaluation of the Selected Factors Effect on the Fatigue Life of Specimens with Sized and Riveted Hole - Part II. Statistical Analyses of Experimental Results A. Lipski Journal of Polish OMAE 7(1), 145-155	2	2012
Evaluation of the Selected Factors Effect on the Fatigue Life of Specimens with Sized and Riveted Hole - Part I. Design of Experiment and Tests Results A. Lipski Journal of Polish OMAE 6(1), 115-121	2	2012
Hybrydowa analiza stanu odkształceń i naprężeń w strefie kontaktu w złączu nitowanym S. Mroczka, A. Lipski Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej 149-156	2	2009
Plastic strain energy of CuZn37 brass in low-cycle multiaxial fatigue regime S. Mroczka, G. Szymanski, A. Lipski AICh Conference Proceedings 1760(1), 020001	1	2016
Wpływ metody schematyzacji losowych obciążeń eksploatacyjnych na obliczana trwałość zmęczeniowa A. Lipski, S. Lipski, S. Lipski Prace Instytutu 133-144	1	2009
Koncepcja opisów własności zmęczeniowych materiałów w obliczeniach trwałości zmęczeniowej elementów konstrukcyjnych A. Lipski Prace Instytutu 133-144	1	2009



Współautorzy

- Dariusz Szybek** - UTP University of Science and Technology
- Jacek Szymanski** - UTP University of Science and Technology
- Lukasz Pawłowski** - UTP University of Science and Technology
- Robert Goryunov** - UTP University of Science and Technology