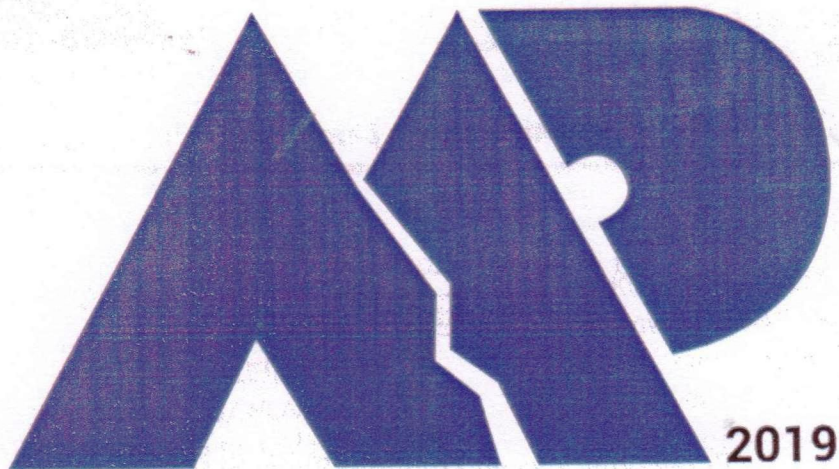


Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn

Politechniki Opolskiej



## **XVII Krajowa Konferencja Mechaniki Pękania**

**Streszczenia referatów**

**Hucisko, 16–19 września 2019 r.**





**XVII Krajowa Konferencja  
Mechaniki Pękania**

Streszczenia referatów

Hucisko, 16–19 września 2019 r.



## ORGANIZATORZY

XVII Krajowej Konferencji Mechaniki Pękania



Pod honorowym patronatem

---

JM Rektora Politechniki Opolskiej

**Prof. Marka Tukiendorfa**

oraz

Przewodniczącego Komitetu Budowy Maszyn  
Polskiej Akademii Nauk

**Prof. Janusza Kowala**

Przewodniczącego Komitetu Mechaniki  
Polskiej Akademii Nauk

**Prof. Tadeusza Burczyńskiego**

Instytucje wspierające

---



**Park Naukowo-Technologiczny**  
w Opolu Sp. z o.o.

**LENZO**  
PRECYZJA Z PASJĄ



**explomet**  
HIGH ENERGY TECHNOLOGIES  
CORPORATE UNIVERSITY OF METALS



**EthosEnergy**  
A WOOD GROUP - TURBOCARE VENTURE

**SCHALTBAU**  
RAWAG

## KOMITET NAUKOWY

### Profesorowie:


Przewodniczący:

**Tadeusz ŁAGODA**

Honorowy Przewodniczący:

**Andrzej NEIMITZ**

Przewodnicząca Polskiej Grupy Mechaniki Pękania: **Dorota KOCAŃDA**

Oleksandr BALYTSKYI 

Michał BASISTA

Wojciech BŁAŻEJEWSKI

Zdzisław BOGDANOWICZ

Dariusz BOROŃSKI


Tadeusz BURCZYŃSKI

André DRAGON 

Piotr FEDELIŃSKI

Jarosław GAŁKIEWICZ

Janusz GERMAN

Grzegorz GLINKA 

Grzegorz GOLAŃSKI

Jerzy KALETA

Aleksander KAROLCZUK

Andrzej KAZBERUK


Marta KOSIOR-KAZBERUK

Zbigniew KOWALEWSKI

Janusz KOWAL

Janusz KOZAK

Lothar KROLL 

Daniel KUJAWSKI 

Tomasz MACHNIEWICZ

Adam NIESŁONY

Jerzy OKRAJNI

Paweł PYRZANOWSKI

Dariusz ROZUMEK

Janusz SEMPRUCH

Andrzej SEWERYN

Dariusz SKIBICKI

Lucjan ŚNIEŻEK

Lucjan WITEK

## KOMITET ORGANIZACYJNY

prof. dr hab. inż. Tadeusz ŁAGODA – przewodniczący, dr inż. Marta KUREK – sekretarz ds. organizacyjnych, dr inż. Andrzej KUREK – sekretarz ds. informatycznych, dr hab. inż. Grzegorz ROBAK, mgr inż. Karolina GŁOWACKA, mgr inż. Anna KULESA, mgr inż. Anna PIELOCH



**Spis Treści**  
**XVII Krajowa Konferencja Mechaniki Pękania**  
**Hucisko 2019**

---

<b>ALEXANDER BALITSKII, JACEK ELIASZ TOMASZ OSIPOWICZ, VALENTYNA BALITSKA, KAROL FRANCISZEK ABRAMEK</b> WPLYW ŚRODOWISKA WODOROWEGO NA PROCESY ZUŻYCIA ELEMENTÓW PAR PRECYZYJNYCH WSPÓLCZESNYCH WTRYSKIWACZY PALIWA SILNIKÓW POJAZDÓW SPECJALNYCH I POŻAROWYCH .....	17
<b>ALEXANDER BALITSKII</b> MECHANISM OF HYDROGEN ASSISTED NICKEL-COBALT SUPERALLOYS FRACTURE ON MESO, MICRO AND NANO LEVEL.....	18
<b>MICHAŁ BARCIKOWSKI, WOJCIECH BŁAŻEJEWSKI, PIOTR KOTOWSKI, GRZEGORZ LESIUK</b> OPIS MORFOLOGII POWIERZCHNI PĘKNIĘCIA METALI I KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH ZA POMOCĄ GEOMETRII FRAKTALNEJ.....	19
<b>ARKADIUSZ BEDNARZ, LUCJAN WITEK</b> WPLYW PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH KARBU ORAZ AMPLITUDY DRGAŃ REZONANSOWYCH NA TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWĄ ŁOPATKI SPRĘŻARKI.....	19
<b>DARIUSZ BOROŃSKI</b> ANALIZA LOKALNYCH WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ZŁĄCZA ZGRZEWANEGO WYBUCHOWO.....	20
<b>CEZARY BOROWIECKI, SEBASTIAN SKROBACZ, TOMASZ CIEŚLAK, PAWEŁ KRYSIŃSKI, ARTUR ILUK, TADEUSZ ŁAGODA</b> ANALIZA TYPÓW ZNISZCZENIA KOMPOZYTÓW WARSTWOWYCH W PRÓBACH ZGINANIA CZTEROPUNKTOWEGO.....	20
<b>MONIKA DUDA, GRZEGORZ LESIUK, DARIUSZ ROZUMEK, MICHAŁ SMOLNICKI</b> MIESZANY WZROST PĘKNIĘĆ ZMĘCZENIOWYCH (I+II, I+III) W DŁUGOTRWALE EKSPLOATOWANEJ STALI MOSTOWEJ .....	21
<b>IHOR DZIOPA, TADEUSZ PAŁA</b> NUMERYCZNE MODELOWANIE I OCENA WYTRZYMAŁOŚCI ZŁĄCZY ZE STALI S960QC.....	21
<b>PIOTR FEDELIŃSKI</b> ANALIZA KONTAKTU POWIERZCHNI PĘKNIĘĆ METODĄ ELEMENTÓW BRZEGOWYCH .....	22
<b>KAROLINA GŁOWACKA, ANDRZEJ KUREK</b> WPLYW SPOSOBU UŁOŻENIA WŁÓKIEN NA UDARNOŚĆ MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH .....	22
<b>GRZEGORZ GOLAŃSKI</b> ANALIZA PRZYCZYŃ USZKODZENIA ELEMENTU UKŁADU WYDECHOWEGO.....	23
<b>URSZULA JANUS-GAŁKIEWICZ</b> WPLYW WYBRANYCH PARAMETRÓW NA PROCES PĘKANIA ŁUPLIWEGO .....	23
<b>JERZY KALETA, RAFAŁ MECH, PRZEMYSŁAW WIEWIÓRSKI</b> PĘKANIE TERFENOLU-D A EFEKTYWNOŚĆ UDAROWEGO HARVESTERA ENERGII.....	24

---

**Wpływ środowiska wodorowego na procesy zużycia elementów par precyzyjnych współczesnych wtryskiwaczy paliwa silników pojazdów specjalnych i pożarowych**

---

*ALEXANDER BALITSKI<sup>1,2</sup>, JACEK ELIASZ<sup>1</sup> TOMASZ OSIPOWICZ<sup>1</sup>, VALENTYNA BALITSKA<sup>3</sup>  
KAROL FRANCISZEK ABRAMEK<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*

<sup>2</sup>*Karpenko Physicomechanical Institute, Ukrainian National Academy of Science, Lviv, Ukraine - Fizyko-Mechaniczny Instytut Państwowej Akademii Nauk Ukrainy we Lwowie, Lwów, Ukraina*

<sup>3</sup>*Lviv State University of Vital Activity Safety, Lviv, Ukraine - Lwowski Państwowy Uniwersytet Bezpieczeństwa Życia, Lwów, Ukraina*

**Streszczenie**

Zadaniem wtryskiwaczy jest dostarczenie paliwa do komory spalania silnika o zapłonie samoczynnym. Proces wtrysku paliwa rozpatrywany jest w dwóch aspektach: jakościowym i ilościowym. Najbardziej newralgicznym podzespołem wtryskiwacza paliwa jest rozpylacz, którego zadaniem jest odpowiednie przygotowanie paliwa do rozpylenia. Zamontowany jest on nad komorą spalania, gdzie panują wysokie temperatury i ciśnienia. Składa się on z obudowy i iglicy. Iglica posiada trzy strefy: parę precyzyjną, niepracującą część oraz zawór otwierający dyszę. Podczas pracy zużyciu ulega element precyzyjny z zaworem.

Proces zużycia aparatury wtryskowej współczesnych pojazdów samochodowych zależy od wielu czynników. Najbardziej istotne z nich to sposób wykonania elementów par precyzyjnych oraz jakość paliwa. Obecność procesów zużycia elementów par precyzyjnych we współczesnych wtryskiwaczach paliwa silników pojazdów specjalnych i pożarowych, między innymi w lotniskowych samochodach pożarniczych RIV 03 (Savar-Kronenburg), Protector (Closter Saro), Dragon (Iveco), Panthera (Rosenbauer) na podwoziu MAN, a także MULLER Umwelttechnik do ochrony środowiska wymaga monitorowania i zapobiegania gwałtownemu pękaniu odpowiedzialnych elementów konstrukcji podczas szybkiej interwencji (RIV – Rapid Intervention Vehicle), i spełnienia wymagania ICAO (o nie przekraczaniu reguły 100 sek.). Podczas pracy pojazdy te obciążane są maksymalnie w bardzo krótkim czasie. Powoduje to przyspieszone zużycie podzespołów silnika, jak i również elementów aparatury wtryskowej. Uzasadniono, że podczas procesów tarcia w wyniku wysokich temperatur pomiędzy parami kinematycznymi wytwarza się wodór, który powoduje zużycie się tych elementów. Warunki robocze rozpylaczy paliwa sprzyjają temu zjawisku. W pracy wykonano badania kamerą termowizyjną sprawnych i zużytych wtryskiwaczy paliwa. Zauważono, że w wyniku zużycia par precyzyjnych wzrasta ich temperatura. Analiza literatury wykazała, że sprzyja to wydzielaniu wodoru i przyspiesza stopień ich zużycia. Dodatkowo wykonano badania wielkości dawek wtrysku i przelewowych sprawnych i uszkodzonych wtryskiwaczy paliwa oraz zdjęcia na mikroskopie. W artykule przedstawiono teorię z hydrodynamicznej warstwy przyściennej i zaproponowano rodzaje rozpylaczy paliwa, których odpowiednia obróbka spełnia wymagania warunków pracy pojazdów specjalnych i pożarowych.



## **Mechanism of hydrogen assisted nickel-cobalt superalloys fracture on meso, micro and nano level**

---

**ALEXANDER BALITSKIJ<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*West Pomeranian University of Technology Szczecin, Poland*

<sup>2</sup>*Karpenko Physicomechanical Institute National Academy of Science of Ukraine, Lviv, Ukraine*

### **Streszczenie**

Increasing of hydrogen containing gas working temperature on turbine inlet during last 50 years in 2th – 5 th engine generation up to 1500...1600 °C accompanied by improvement of heat resistant superalloys durability level (temperature at which take place the material fracture at applied stress 140 MPa on 1000 h time base). The production of modern turbine equipment with higher operated temperatures requires the wide usage of heat-resistant Ni-Co alloys and single crystals. In such cases alloys are long term exploited at high temperatures in the contact with high-pressure hydrogen containing gas.

By the 3D visualization of crack morphology (realized by ToupView program) it has been discovered the structure of fatigue crack surface and established the refer points on crack path, including the boundary between the matrix and intermetallic particles (400 µm x 200 µm), crack opening, structural elements distributions on the surface for selection of next local areas for more precision fracture surface and TEM examinations. Under the cyclic loading it has been established the Paris equation parameters (c and n), which describe the linear part of SIF diagrams (stable fatigue crack propagation range) at various hydrogen saturation parameters and hydrogen concentration in materials. Hydrogen influence on cyclic crack resistance parameters appears in the decreasing of loading cycles number (with amplitudes 15 MPa) in hydrogenated specimens of both alloys and increase with hydrogen concentration. At highest hydrogen saturation regimes of Ni51Co15Cr9W6Al5Mo4 alloy (800°C, 35 MPa H<sub>2</sub>, 36 hours, CH = 32,7 ppm) number of cycles, which is necessary for crack initiation is 3 times less in comparison with specimen in initial state. Durability of deformed Ni62Cr14Co10Mo4Al4Ti4 after hydrogenation (800°C, 35 MPa H<sub>2</sub>, 36 hours, CH = 26,8 ppm) has decrease 1,5 times. At crack initiation step in hydrogenated Ni51Co15Cr9W6Al5Mo4, Ni56Cr14Co15Mo5Al3Ti3 alloy it has been established that before intermetallic inclusion (400 µm x 200 µm) local stresses increased, after its passing – has decreased. By fracture surface investigation there have been found the micro cracks up to 40 µm. Thin structure of heat resistant superalloys has been characterized by disperse phase agglomeration with dimensions from 5 to 30 nm and crack propagation has a jumping character with no less than 50...70 nm steps. Under high stress takes place the phenomenon of grain boundaries twisted and displacement of the grain boundaries absorb most mechanical stress applied to the specimens and generate potential wells for hydrogen migrating and settling to. So, the twisted grain boundaries and the slipping plains surrounded them by trapped hydrogen. On the other hand on the nano level (when hydrogen distribution visually appear in the microstructure) it has been established that hydrogen concentrate around the grain boundaries and inclusions.



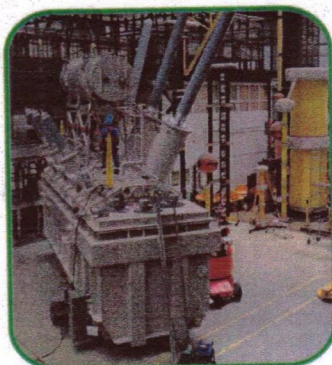


## INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA DLA ENERGETYKI

Jesteśmy dynamicznie rozwijającą się firmą, będącą liderem rynku polskiego, bardzo dobrze rozpoznawalną wśród światowych producentów oraz firm serwisowych maszyn elektrycznych. Nasza firma działa na rynku już od pięćdziesięciu lat, zdobywając zaufanie klientów i pozycję niezawodnego partnera biznesowego. Spełniając indywidualne potrzeby klientów oferujemy profesjonalne i kompleksowe rozwiązania z dziedziny generatorów, transformatorów, turbin, urządzeń mechanicznych i konstrukcji stalowych.

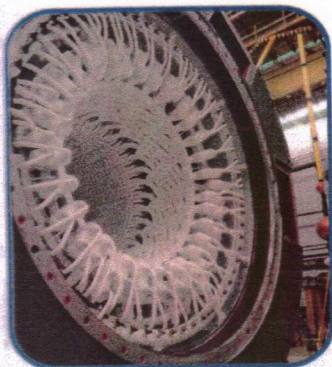
### ZAKŁAD GENERATORÓW

- Projektowanie i produkcja stojanów i wirników generatorów.
- Kompleksowa modernizacja generatorów wszystkich typów.
- Remonty i modernizacja hydrogeneratorów.
- Produkcja uzwojeń stojanów i wirników generatorów.
- Odwirowywanie i wyważanie wirników na wyważarce dynamicznej.



### ZAKŁAD TRANSFORMATORÓW

- Projektowanie i produkcja transformatorów blokowych, sieciowych oraz autotransformatorów.
- Produkcja i projektowanie transformatorów specjalnych: piecowych i prostownikowych.
- Modernizacja, remonty, przeglądy oraz serwis wszystkich typów transformatorów.



### ZAKŁAD MECHANICZNY

- Produkcja podzespołów do generatorów i transformatorów, takich jak: podstawy i korpusy, pokrywy łożysk, kadzie transformatorowe.
- Serwis i produkcja komponentów turbin.
- Produkcja konstrukcji wielkogabarytowych.



# EthosEnergy

EthosEnergy Poland S.A. ul. Powstańców Śląskich 85, 42-701 Lubliniec, Poland, tel: +48 34 357 21 00, [ethosenergy@ethosenergygroup.pl](mailto:ethosenergy@ethosenergygroup.pl)