

**POLITECHNIKA OPOLSKA**

---

**WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I LOGISTYKI**

Współorganizatorzy:

**UNIwersytet Techniczny w Ostfrawie (Czechy)**

**UNIwersytet Techniczny w Koszycach  
(Słowacja)**

**Instytut Problemów Stosowanych Mechaniki i  
Matematyki Narodowej Akademii Nauk  
we Lwowie (Ukraina)**

**Państwowy Moskiewski Uniwersytet  
Technologiczny „Stankin” (Rosja)**

**Międzynarodowe seminarium naukowe**

***OPTYMALIZACJA STRUKTUR PROCESÓW  
WYTWÓRCZYCH - 2014***

**Streszczenia**



**OPOLE  
15 - 16 grudnia 2014**

---

OPOLE 2014

**PRZEWODNICZĄCY** – dr hab. Maksymilian Gajek, prof. PO

**KOMITET NAUKOWY**

C. Górecki, A. Hachkevych, S. Hloch, V. Madr,  
I. Mulicka, J. Pająk, W. Serebrjakov, L. Shvartsburg, A. Stanik-Besler,  
J. Szymczak

**KOMITET ORGANIZACYJNY**

I. Mulicka, A. Stanik-Besler, T. Sałajczyk, M. Kmiecik, M. Ginter

**JEDNOSTKI ORGANIZACYJNE:**

Katedra Inżynierii i Bezpieczeństwa Pracy, Katedra Matematyki i  
Zastosowań Informatyki, Katedra Fizyki

**SEKRETARIAT SEMINARIUM**

POLITECHNIKA OPOLSKA  
Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki  
Instytut Organizacji Procesów Wytwórczych  
ul. Gen. Sosnkowskiego 31, 45-273 Opole  
tel. 077-449-88-43

SPIS TREŚCI

Strony

REFERATY ZAMAWIANE

1.	<b>M. GAJEK, O. HACHKEVYCH, A. STANIK-BESLER</b> PROCESY WYTWÓRCZE. OSIĄGNIĘCIA I PROBLEMY .....	11
2.	<b>G. KRÓLCZYK, M. GAJEK, S. HLOCH</b> WYBRANE ZAGADNIENIA OCENY MORFOLOGII POWIERZCHNI .....	14
3.	<b>V. ASTASHKIN, M. GAJEK, O. HACHKEVYCH, T. KOZAKEVYCH, R. KUSZNIR</b> MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA SZCZĄTKOWEGO STANU FAZOWEGO ORAZ STANU NAPRĘŻEŃ STALOWEJ TARCZY PRZY NAGRZEWANIU Z UDZIAŁEM RUCHOMYCH ROZŁOŻONYCH ŹRÓDEŁ CIEPŁA .....	17
4.	<b>S. BUDZ, K. GHAZARYAN, M. HACHKEVYCH, O. HACHKEVYCH, A. STANIK-BESLER</b> MODELE I METODY W ZAGADNIENIACH OPTYMALIZACJI PRZEBIEGÓW NAGRZEWANIA TECHNOLOGICZNEGO KAWAŁKAMI JEDNORODNYCH SZKLANYCH POWŁOK .....	20
5.	<b>H. ŚCIEGOSZ</b> ZASTOSOWANIE ANALIZY FALKOWEJ DO OPISU PROCESÓW OSCYLACYJNYCH .....	23
I.	NAUKI PODSTAWOWE W PROCESACH WYTWÓRCZYCH	
1.	<b>V. FLYUD, Yu. GOLOVATY</b> ZAGADNIENIE BRZEGOWE DLA SILNIE ZABURZONEGO RÓWNIANIA PARABOLICZNEGO W GRAFIE GEOMETRYCZNYM O RÓŻNYCH WSPÓŁCZYNNIKACH PRZEWODNOŚCI CIEPLNEJ KRAWĘDZI. WYPADEK CZĘŚCIOWEGO ZDEGENEROWANIA.....	31
2.	<b>K. WOJTECZEK – LASZCZAK</b> NIERÓWNOŚCI TYPU HARDY’EGO WYŻSZYCH RZĘDÓW .....	33
3.	<b>Cz. GÓRECKI, T. GÓRECKI</b> KINETYKA KRYSTALIZACJI SZKŁA METALICZNEGO Co66Ni12Si9B13 BADANE METODAMI EGZOEMISJI ELEKTRONÓW (EEE), TERMICZNEJ ANALIZY RÓŻNICOWEJ (DTA) I TERMOMAGNETOMETRII (TM) .....	35
4.	<b>A. MARYNOWICZ</b> IDENTYFIKACJA POJEMNOŚCI CIEPLNEJ CERAMICZNEGO MATERIAŁU POROWATEGO W NIESTACJONARNYM POMIARZE TERMOWIZYJNYM.	37

5. **O. HACHKEVYCH, R. MUSIJ, H. STASIUK, J. SZYMCZAK, D. TARLAKOVSKII**  
 PROBLEMY TERMOMECHANIKI CIAŁ PRZEWODZĄCYCH  
 ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY IMPULSOWYCH ODDZIAŁYWANIACH  
 ELEKTROMAGNETYCZNYCH.....40
6. **R. MUSIJ, A. STANIK-BESLER, H. STASIUK, D. TARLAKOVSKII, R. TERLECKII**  
 METODYKA ROZWIĄZYWANIA PŁASKIEGO DYNAMICZNEGO  
 ZAGADNIENIA TERMOMECHANIKI DLA WARSTWY PRZEWODZĄCEJ  
 ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY NIEJEDNORODNYM NIESTACJONARNYM  
 ELEKTROMAGNETYCZNYM ODDZIAŁYWANIU.....42
7. **R. MUSIJ, M. SOŁODYAK, H. STASIUK, J. SZYMCZAK, R. TERLECKII**  
 ZAGADNIENIA TERMOMECHANIKI OKRESLAJĄCE WŁAŚCIWOŚCI  
 CIEPLNE I MECHANICZNE WARSTWY PRZEWODZĄCEJ  
 ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY ODDZIAŁYWANIU IMPULSOWEGO POLA  
 ELEKTROMAGNETYCZNEGO O MODULACJI AMPLITUDY I  
 OKRESOWYM ROZKŁADZIE WZGLĘDEM POPRZECZNEJ  
 WSPÓLRZĘDNEJ .....44
8. **G. KRÓLCZYK, A. STANIK-BESLER**  
 WPŁYW ZMIAN WARTOŚCI PARAMETRÓW KRYTERIALNEJ FUNKCJI  
 CELU W METODZIE SIATKOWO-DRZEWIASTEJ DLA TOCZENIA STALI  
 DUPLEX .....46
9. **A. KOZIARSKA, G. KRÓLCZYK**  
 RANGA WAŻNOŚCI PARAMETRÓW TOCZENIA STALI DUPLEX  
 Z ZASTOSOWANIEM METOD STATYSTYCZNYCH.....48
10. **H. KVASNYTSIA, O. OSTAPOV, H. SHYNKARENKO, O. VOVK**  
 DWUSTRONNE OBLICZANE APOSTERIORYCZNE ESTYMATORY  
 BŁĘDÓW I H-ADAPTYWNA METODA ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH.....50
11. **R. DREBOTIY, H. SHYNKARENKO**  
 HP-ADAPTYWNA METODA ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH DLA 1D  
 ZAGADNIENIA BRZEGOWEGO DYFUZJI-KONWEKCJI-REAKCJI.....51
12. **R. MALETS, H. SHYNKARENKO**  
 KONSTRUOWANIE MODELI POWŁOK TERMOSPREŻYSTYCH ORAZ  
 ANALIZA POPRAWNOŚCI JEJ ZAGADNIENIA WARIACYJNEGO.....52
13. **A. METELSKI**  
 IDENTYFIKACJA SKŁADNIKA ŹRÓDŁOWEGO W RÓWNANIU  
 PRZEWODNICTWA CIEPLNEGO .....53
14. **Z. ŚLÓDERBACH**  
 KINEMATYCZNE I STATYCZNE POLA PLASTYCZNOŚCI W KSZTAŁTO-  
 WANIU MATERIAŁÓW PRZEZ DWA STEMPLE  
 Część. I. Wyprowadzenie podstawowych równań i zależności.....55
15. **Z. ŚLÓDERBACH**  
 KINEMATYCZNE I STATYCZNE POLA PLASTYCZNOŚCI W KSZTAŁTO-  
 WANIU MATERIAŁÓW PRZEZ DWA STEMPLE  
 Część. II. Omówienie i analiza otrzymanych rezultatów .....57

II. MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA PROCESÓW WYTWÓRCZYCH

1. **S. BUDZ, K. GHAZARYAN, M. HACHKEVYCH, O. HACHKEVYCH, A. STANIK-BESLER**  
 METODA OPTYMALIZACJI WZGLĘDEM STANU NAPRĘŻEŃ PRZEBIEGÓW NAGRZEWANIA KAWAŁKAMI JEDNORONNYCH SZKLANYCH POWŁOK W PROCESACH WYTWÓRCZYCH .....61
2. **M. HACHKEVYCH, O. HACHKEVYCH, E. IRZA, A. KOZIARSKA, V. MAJAROVSKII**  
 FORMUŁOWANIE ZAGADNIENIA PROSTEGO PRZY OPTYMALIZACJI PRZEBIEGÓW NAGRZEWANIA TECHNOLOGICZNEGO SZKLANYCH KAWAŁKAMI JEDNORODNYCH POWŁOK .....62
3. **S. BUDZ, M. HACHKEVYCH, A. KOZIARSKA, A. STANIK-BESLER, B. TRISZCZ**  
 PROSTE OSIOWOSYMETRYCZNE ZAGADNIENIE TERMOMECHANIKI DLA KAWAŁKAMI JEDNORODNYCH SZKLANYCH POWŁOK W ZAGADNIENIACH OPTYMALIZACJI PRZEBIEGÓW NAGRZEWANIA .....64
4. **B. CHORNYI, M. HACHKEVYCH, L. HAYEVŠKA, E. IRZA, A. KOZIARSKA**  
 POCZĄTKOWE PRZYBLIŻENIE FUNKCJI STEROWANIA PRZY OPTYMALIZACJI PRZEBIEGÓW NAGRZEWANIA TECHNOLOGICZNEGO KAWAŁKAMI JEDNORODNYCH SZKLANYCH POWŁOK .....65
5. **B. BOZHENKO, B. DROBENKO, O. HACHKEVYCH, T. KOZAKEVYCH, A. STANIK-BESLER**  
 METODYKA NUMERYCZNEGO ROZWIĄZYWANIA ZAGADNIENIA WYZNACZANIA I OPTYMALIZACJI SZCZĄTKOWEGO STANU FAZOWEGO ORAZ SPRĘŻYSTEGO STAŁOWEJ TARCZY PRZY NAGRZEWANIU PRZEZ RUCHOME ŹRÓDŁA CIEPŁA .....66
6. **V. ASTASHKIN, M. GAJEK, O. HACHKEVYCH, T. KOZAKEVYCH, J. SZYMCZAK**  
 OPTYMALIZACJA STANU SZCZĄTKOWEGO I SPRĘŻYSTEGO TARCZY STAŁOWEJ PRZY NAGRZEWANIU PRZEZ RUCHOME ROZŁOŻONE ŹRÓDŁA CIEPŁA ORAZ STACJONARNE LOKALNE POLE TEMPERATUR.....67
7. **V. ASTASHKIN, M. GAJEK, T. KOZAKEVYCH, A. RAWSKA-SKOTNICZNY, I. CHUPYK**  
 BADANIE I OPTYMALIZACJA WPŁYWU WYBRANYCH TERMICZNYCH I TECHNOLOGICZNYCH PARAMETRÓW PROCESU NAGRZEWANIA NA SZCZĄTKOWY STAN FAZOWY I SPRĘŻYSTY MIAŁOWĘGLOWYCH NISKOSTOPOWYCH STAŁOWYCH TARCZ .....68
8. **O. HACHKEVYCH, R. KUSHNIR, Y. NIEMIROVSKII, R. TERLETSKII, O. TURII**  
 MODELE RADIACYJNEJ TERMOMECHANIKI OPRAMIENIOWYWANYCH PŁASKO-WARSTWOWYCH CIAŁ, WYKORYSTYWANE PRZY ROZWIĄZYWANIU WYBRANYCH ZAGADNIENI PROCESÓW WYTWÓRCZYCH .....69

9. **M. GAJEK, Y. NIEMIROVSKII, J. SZYMCZAK, R. TERLETSKII, O. TURII**  
MODELOWANIE TERMOMECHANICZNEGO ZACHOWANIA TARCZ  
WARSTWOWYCH, SKŁADAJĄCYCH SIĘ Z WARSTW O RÓŻNEJ  
PRZEZROCZYŚCİ, PRZY TECHNOLOGICZNYM OPRMIENIOWANIU  
CIEPLNYM.....71
10. **V. BOYCHUK, O. HUMENCHUK, A. MARYNOVICH, R. TERLETSKII, O. TURII**  
MODELOWANIE PROCESU PRZENIESIENIA CIEPŁA I STANU NAPRĘŻEŃ  
W WARSTWOWYCH TARCZACH PRZY OBECNOŚCI CIENKICH POD-  
WARSTW, Z UWZGLĘDNIENIEM POCHŁANIANIA I WYPROMIENIOWA-  
NIA PRZEZ NIE ENERGII CIEPLNEJ, W ZAGADNIENIACH POWIĄZANYCH  
Z OPRACOWANIEM PROCESÓW PRODUKCYJNYCH .....73
11. **V. ASTASHKIN, B. BOZHENKO, O. ONYSHKO, Y. NIASZIN, A. STANIK-BESLER**  
ILOŚCIOWY OPIS PROCESÓW FIZYCZNO – MECHANICZNYCH W  
CIAŁACH O PAMIĘCI KSZTAŁTU Z WYKORZYSTANIEM NIE-  
ZMIENNIKÓW TENSORÓW NAPRĘŻEŃ ORAZ DEFORMACJI.....74

### III INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA W PROCESACH WYTWÓRCZYCH

1. **M. GAJEK, T. WOŁCZAŃSKI, U. MOCZYGĘBA**  
URZĄDZENIA TRANSPORTU BLISKIEGO WZGLĘDEM BEZPIECZEŃSTWA  
SPRZĘTU TECHNICZNEGO.....77
2. **T. WOŁCZAŃSKI, J. RUT**  
MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA HAŁASU I JEGO SZKODLIWEGO  
DZIAŁANIA W PROCESIE PRACY.....78
3. **T. WOŁCZAŃSKI, J. RUT, E. BURKIEWICZ-JANIK**  
ANALIZA POZIOMU HAŁASU W WYBRANYM PRZEDSIĘBIORSTWIE  
PRODUKCYJNYM.....79
4. **M. GAJEK, T. WOŁCZAŃSKI, M. MADROW, M. WINCENIAK**  
OCENA HAŁASU TURBIN WIATROWYCH. WPLYW NA CZŁOWIEKA .....80
5. **J. RUT, E. KULIŃSKA**  
RFID – USPRAWNIEŃIE IDENTYFIKACJI PROCESÓW PRODUKCJI  
PRZEMYSŁOWEJ PRZEDSIĘBIORSTW.....81
6. **J. RUT, B. MIŁASZEWICZ, M. WŁOKA**  
OCENA I ANALIZA BEZPIECZEŃSTWA W WYBRANYM  
PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM.....82
7. **I. MULICKA, M. GAJEK**  
ANALIZA ZAGROŻENIA CZYNNIKAMI NIEBEZPIECZNYMI W FIRMACH  
PRZETWÓRSTWA ROLNEGO .....83
8. **A. PYTEL, J. RUT**  
OCENA ZAGROŻEŃ I RYZYKA ZAWODOWEGO NA WYBRANYCH  
STANOWISKACH PRACY W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM.....85

9. **M. GAJEK, A. PYTEL**  
SZACOWANIE Z WYKORZYSTANIEM METODY RISK SCORE RYZYKA  
ZAWODOWEGO WYNIKAJĄCEGO Z ZAGROŻEŃ NA STANOWISKU  
PRACY KIEROWCY ŚRODKA TRANSPORTU ..... **86**
10. **J. RUT, T. WOŁCZAŃSKI, A. PYTEL, P. KNOP**  
ANALIZA ZAGROŻEŃ W ŚRODOWISKU PRACY ZAKŁADU  
STOLARSKIEGO ..... **87**
11. **I. MULICKA, M. GAJEK**  
PRÓBA USTALENIA HIERARCHII MOTYWACJI DO PRACY ..... **88**
12. **I. MULICKA, M. GAJEK, K. KOCZUR**  
KOMUNIKACJA SPOŁECZNA W FIRMIE PRODUKCYJNEJ ..... **90**
13. **I. TREMBACZ, S. MORYŃ**  
PROBLEMY BEZPIECZNEGO WYKORZYSTANIA TŁUSZCZY  
ODPADOWYCH. ASPEKTY PRAWNE, EKONOMICZNE I TECHNICZNE..... **91**





## REFERATY ZAMAWIANE





M. GAJEK<sup>1</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Opolska

<sup>2</sup> Instytut Problemów Podstawowych Mechaniki i Matematyki NAN Ukrainy

## **PROCESY WYTWÓRCZE. OSIĄGNIĘCIA I PROBLEMY**

Zainteresowanie problemami opracowania i udoskonalania procesów wytwórczych w ostatnich latach spowodowane jest potrzebą wykorzystywania osiągnięć naukowo-technicznych dla poprawy konkurencyjności produkcji na rynkach światowych. Stąd konieczność ciągłego doskonalenia teoretycznych podstaw wspomnianych opracowań przez szerokie zastosowanie metod i aplikacji nauk podstawowych, modelowania matematycznego, komputerowego i statystycznego oraz technik optymalizacyjnych z jednoczesnym uwzględnieniem zagadnień inżynierii bezpieczeństwa.

W ostatnich latach w Politechnice Opolskiej powstał zespół pracowników naukowych, zajmujących się rozbudową teoretycznych podstaw organizacji i realizacji procesów wytwórczych oraz badań w tej dziedzinie. Badania te realizowane są w trzech obszarach:

- aplikacje nauk podstawowych w procesach wytwórczych;
- modelowanie i optymalizacja w procesach wytwórczych;
- inżynieria bezpieczeństwa w procesach wytwórczych.

Celem badań prowadzonych w przedstawionych wyżej obszarach tematycznych jest próba opracowania istotnych dla praktyki inżynierskiej procesów produkcyjnych i technologii w sposób umożliwiający osiągnięcie zamierzonych efektów jakościowych i ilościowych przy minimalizacji kosztów, szczególnie w obszarze zużycia materiałów i energii. Pewnego rodzaju nowością jest koncepcja rozwiązywania powyższych problemów poprzez opracowanie odpowiednich modeli matematycznych opisujących rozważane procesy, ich optymalizację i dostosowanie do wymogów inżynierii bezpieczeństwa, zarówno w obszarze ogólnie rozumianego bezpieczeństwa pracy jak i bezpieczeństwa technicznego. Koncepcja ta dotyczy też opracowania metod rozwiązywania zagadnień występujących w modelach i analizy wyników przy szerokim zastosowaniu symulacji komputerowej i osiągnięć nauk podstawowych.

Rozwiązywanie tego typu złożonych zagadnień powoduje w konsekwencji kompleksowość badań naukowych, prowadzonych przez szeroki zespół specjalistów z różnych dziedzin nauki i możliwe jest tylko w wyniku szerokiej ogólnopolskiej i międzynarodowej współpracy pomiędzy jednostkami naukowymi. Z analizy różnorodnych aspektów organizacji procesów wytwórczych wynika, że w tej dziedzinie wykonywana jest znaczna ilość badań, które mają zróżnicowany charakter i wymagają uogólnienia i systematyzacji. Próbę takiego usystematyzowania wiedzy we wspomnianych trzech obszarach

tematycznych prezentuje cykl monografii wydawanych przez Politechnikę Opolską w ostatnich latach:

1. Optimization of manufacturing processes, Ed. by M. Gajek, OWPO SIM z. 238, Opole 2008.  
Modelowanie i inżynieria produkcji w ekorozwoju, Red. nauk. S. Szymura, OWPO SIM z. 236, Opole 2008.  
Экологические аспекты производства и среды, Науч. ред. А. Гачкевич, OWPO SIM z. 237, Opole 2008.
2. Optimization of the structures of manufacturing processes, Ed. by M. Gajek, OWPO SIM z. 256, Opole 2009.
3. Optimization of manufacturing processes and more environment, Ed. by M. Gajek, OWPO SIM z. 276, Opole 2010.
4. Modelowanie procesów wytwórczych / Моделирование производственных процессов, Red. nauk. M. Gajek, O. Hachkevych, OWPO SIM z. 277, Opole 2010.
5. Manufacturing processes. Some problems, Ed. by: M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler:
  - v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 330, Opole 2012.
  - v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 331, Opole 2012.
  - v. 3: Safety engineering in manufacturing processes, OWPO SIM z. 332, Opole 2012.
6. Manufacturing processes. Actual problems-2013, Ed. by: M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler:
  - v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 364, Opole 2013.
  - v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 365, Opole 2013.
  - v. 3: Safety engineering in manufacturing processes, OWPO SIM z. 366, Opole 2013.

Większość z tych monografii realizowana jest w postaci trzech tomów poświęconych wyodrębnionym obszarom wiedzy.

Prezentowane na niniejszym międzynarodowym seminarium materiały (seminaria te odbywają się corocznie od 2008 roku) przedstawiają nowe rezultaty przeprowadzonych w latach 2013-2014 badań w omówionych obszarach wiedzy z uwzględnieniem ich wzajemnego oddziaływania i połączenia i dotyczą głównie budowania teoretycznych podstaw opracowania i organizacji procesów wytwórczych, związanych z obróbką materiałów i eksploatacją urządzeń przy wykorzystaniu różnych czynników oddziaływania technologicznego: siłowych, cieplnych i elektromagnetycznych.

Przedstawione przez autorów rezultaty mogą być przydatne dla naukowców zajmujących się badaniem i projektowaniem procesów

wytwórczych. Mogą być wykorzystane przez inżynierów interesujących się aplikacjami nauk podstawowych oraz problemami modelowania, optymalizacji i inżynierii bezpieczeństwa w procesach wytwórczych, a również przez studentów starszych lat kierunków budownictwa, inżynierii produkcji, logistyki, inżynierii bezpieczeństwa, mechanicznych i elektrotechnicznych zainteresowanych omawianymi problemami.

Udostępnione przez autorów materiały są owocem kontynuacji wspólnych badań naukowców Politechniki Opolskiej w dziedzinach powiązanych z opracowaniem różnych aspektów dotyczących procesów produkcyjnych, w ramach współpracy z polskimi i zagranicznymi ośrodkami naukowo-badawczymi: Politechniką Poznańską, Uniwersytetem Zielonogórskim, Polskim Towarzystwem Ergonomicznym w Warszawie, Państwowym Moskiewskim Uniwersytetem Technicznym STANKIN, Instytutem Problemów Stosowanych Mechaniki i Matematyki Narodowej Ukraińskiej Akademii Nauk we Lwowie, Uniwersytetem Technicznym w Ostrawie oraz Uniwersytetem Technicznym w Koszycach.

G. KRÓLCZYK<sup>1</sup>, M. GAJEK<sup>1</sup>, S. HLOCH<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Opolska

<sup>2</sup> Uniwersytet Techniczny w Koszycach

## **WYBRANE ZAGADNIENIA OCENY MORFOLOGII POWIERZCHNI.**

Produkcja realizowana przy najniższych wskaźnikach ekonomicznych, przy jednocześnie wytwarzanej powierzchni obrobionej w sposób umożliwiający jej szerokie zastosowanie to cel każdej organizacji przemysłowej. Osiąganie pożądanej – najkorzystniejszej z punktu widzenia użyteczności – topografii i morfologii jest niezwykle istotne z dla zachowania funkcjonalności wytwarzanych przedmiotów. Profilometria jest od wielu lat znaną metodą badania topografii powierzchni.

Należy stwierdzić, że w większości dokumentacji technologicznej, a ściśle w rysunkach wykonawczych, brak jest bardzo często informacji dotyczących funkcjonalności powierzchni. Informacje tam zawarte dotyczą najczęściej danych materiałowych, tolerancji wykonania czy chropowatości powierzchni. Optymalnie opracowany proces technologiczny – szczególnie obróbki skrawaniem – wymaga ustalenia optymalnych warunków obróbki, znajomości właściwości wykorzystywanych materiałów stosowanych na narzędzia skrawające, oraz parametrów funkcjonalnych powierzchni obrabianych wyrobów.

Od 2010 roku grupa pracowników naukowych Politechniki Opolskiej zajmuje się zagadnieniami oceny technologicznej warstwy wierzchniej materiałów trudnoobrabialnych. Szczególnie dotyczy to obróbki toczeniem stali Duplex. Na potrzeby tych działań stworzono laboratorium w którym realizowane są eksperymenty z zakresu inżynierii powierzchni. OUTEch Surface Integrity Lab to nowoczesne laboratorium naukowe prowadzące badania naukowe dotyczące zagadnień związanych z inżynierią powierzchni będących częścią dyscypliny nauki inżynierii produkcji. Laboratorium mieści się w trzech pomieszczeniach Wydziału Inżynierii Produkcji i Logistyki Politechniki Opolskiej. Jest to laboratorium naukowe w którym prowadzone są badania Morfologii Powierzchni, zużycia narzędzi skrawających oraz stanu Technologicznej Warstwy Wierzchniej w procesie obróbki skrawaniem stali trudnoskrawalnych. Badania realizowane w Laboratorium związane są z analizą i poprawą procesów produkcyjnych. W szczególności, badania skupiają się na minimalizacji wad obróbki w produkcji, poprawie precyzji i powtarzalności elementów maszyn w ramach procesów produkcyjnych. Badania dotyczą także Morfologii Powierzchni w procesie produkcji oraz jej aplikacyjności w budowie i dalszej eksploatacji maszyn.

W skład Laboratorium wchodzi aparatura badawcza zakupiona za kwotę ponad 2 000 000 zł. Obecnie Laboratorium realizuje badania mające na celu implementację 11 wdrożeń powstałych w wyniku zrealizowanych projektów przemysłowych oraz 2 transfery technologii dla zaangażowanych podmiotów, którymi są przedsiębiorstwa produkcyjne.

W ramach badań realizowanych w Laboratorium utworzona została sieć naukowa (Network Science) w której skład wchodzi 12 naukowcy z Europy i Indii. Badania prowadzone w Laboratorium – ich charakter naukowy oraz skład osobowy są ogólnie dostępne na stronie internetowej [www.surfaceintegrity.po.opole.pl](http://www.surfaceintegrity.po.opole.pl). Laboratorium otrzymało nazwę OUTEch Surface Integrity Lab od miejsca w którym się znajduje oraz badań jakie są w nim realizowane. Osoby powiązane naukowo z Laboratorium ze względu na rzetelność naukową nie są anonimowe, a ich sylwetki oraz osiągnięcia naukowe znajdują się na stronie internetowej. Praca w takim zespole profesjonalistów, osób o uznanej na świecie reputacji zaowocowała pięcioma impact factorowymi artykułami w 2013 roku. W roku 2014 planowane jest opublikowanie kolejnych 10 takich artykułów (7 już zostało opublikowanych bądź przyjętych do druku). Badania realizowane w Laboratorium prezentowane były na kilku konferencjach naukowych m.in. na 11th International Conference on Modern Technologies in Manufacturing MTeM w CLUJ-NAPOCA, gdzie prezentacja wyróżniona została nagrodą za najlepszą prezentację pracy naukowej. Ponadto OUTEch's Surface Integrity Lab zostało współorganizatorem międzynarodowej konferencji naukowej: International Conference on Manufacturing Engineering and Materials (ICMEM 2014).

Aparatura będąca na wyposażeniu Laboratorium to mikroskopy do pomiaru wskaźników powierzchni, zużycia ostrzy, twardości i mikrotwardości oraz struktury metalograficznej. Ponadto Laboratorium dysponuje maszynami sterowanymi numerycznie CNC (tokarka i frezarka) z pełnym wyposażeniem, jednymi z najnowocześniejszych na rynku. Laboratorium podzielone zostało tematycznie na trzy części w zależności od prowadzonych w nim badań:

Proces toczenia. Jest to część w której odbywa się proces toczenia realizowany na Tokarce sterowanej numerycznie CNC o wysokich parametrach technicznych wraz z pełnym wyposażeniem. Tokarka wyposażona jest w osiowy wyciągacz pręta, podajnik/magazyn pręta, transporter wiórów, sondę narzędzia oraz separator detali. Ponadto tokarka posiada napędzane oprawki oraz 12 gniazd na napędzane narzędzia.

Proces frezowania. Jest to część w której odbywa się proces frezowania realizowany na 4-osiowej Frezarce sterowanej numerycznie CNC. Frezarka wyposażona jest w sondę narzędzia, sondę detalu oraz imadło maszynowe z regulowaną siłą docisku.

Laboratorium specjalistyczne. Jest to część w której odbywa się analiza procesu zużycia ostrzy narzędzi skrawających oraz ocena stanu Technologicznej Warstwy Wierzchniej. W laboratorium utrzymywana jest stała temperatura oraz

wilgotność. Takie pomieszczenie w którym znajduje się mikroskop optyczny 3D światła białego wykorzystujący do badań metodę Focus-Variation gwarantuje wysoki poziom badań naukowych. Laboratorium wyposażone jest także w mikrotwardościomierze oraz inne mikroskopy optyczne wraz z innymi specjalistycznymi narzędziami pomiarowymi.

Jak już wspomniano, wyniki prac realizowanych we wspomnianym laboratorium cieszą się dużym zainteresowaniem ze strony ośrodków naukowych zarówno w kraju jak i za granicą. Prezentowane wyniki w postaci artykułów są wysoko oceniane i są publikowane w czasopismach o wysokiej randze światowej.



V. ASTASHKIN<sup>1</sup>, M. GAJEK<sup>2</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>,  
T. KOZAKEVYCH<sup>1</sup>, R. KUSZNIR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>2</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

## **MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA SZCZĄTKOWEGO STANU FAZOWEGO ORAZ STANU NAPRĘŻEŃ STALOWEJ TARCZY PRZY NAGRZEWANIU Z UDZIAŁEM RUCHOMYCH ROZŁOŻONYCH ŹRÓDEŁ CIEPŁA**

W przeprowadzonych rozważaniach wyjściowym jest model opisu stanu fazowego oraz naprężeń, powstałych po zakończeniu monotonicznego chłodzenia ciał stalowych, adaptowany na przypadek cienkich małowęglowych niskostopowych stalowych tarcz, które nagrzewane są do podwyższonych temperatur (temperatur pełnej austenizacji stali w obszarach o maksymalnym termicznym wpływie) przez układy ruchomych rozłożonych źródeł ciepła. W modelu tym zawartość fazowych składowych: martenzytu, bainitu oraz ferryto-perlitu powiązana jest z czasem obecności lokalnych podobszarów ciała w praktycznym przedziale temperatur przekształcenia polimorficznego (za który przyjęto przedział 850÷500,°C) oraz składem chemicznym stali. Procentowy udział składowych określany jest przez obecne w literaturze dla takich stali interpolacyjne analityczne zależności, otrzymane na podstawie wyników statystycznej obróbki termokinetycznych diagramów rozpadu austenitu w odpowiednich stalowych wzorcach.

Wiadomo, że w procesie rozpadu austenitu powstaje wydzielenie ciepła, które spowalnia chłodzenie i w pewnych przypadkach może mieć wpływ na rozkład temperatury. Ustalono, że przy szybkim monotonicznym chłodzeniu rozważanych małowęglowych stali, przy którym powstają fazowe składowe, takie ciepło praktycznie nie ujawnia się. Maksymalne ciepło przy przekształceniach fazowych powstaje w stalach o dużej zawartości węgla. Ono może spowodować zmiany temperatury rzędu 30°C. Dla tego w szeregu prac, poświęconych analizie stanu fazowego i naprężeń w stalach małowęglowych, oraz w stosowanym modelu takie ciepło nie jest uwzględniane. W literaturze również otrzymano teoretycznie i potwierdzono eksperymentalnie, że dla rozważanych stali szczątkowe naprężenia i deformacje praktycznie nie wpływają na temperaturę i fazowy skład materiału.

Z uwzględnieniem powyższych uwag opracowano taki wieloetapowy schemat obliczeniowy określenia szczątkowego stanu fazowego, właściwości mechanicznych oraz naprężeń w rozważanych cienkich tarczach stalowych:

- wyznaczanie pola temperatur, które oparte jest na formułowaniu odpowiednich dwuwymiarowych początkowo-brzegowych zagadnień przewodnictwa cieplnego dla cienkiej tarczy przy lokalnym nagrzewaniu przez układy rozłożonych ruchomych źródeł ciepła i monotonicznym chłodzeniu (od wysokotemperaturowego stanu wyjściowego materiału tarczy przy obecności obszaru zupełnej austenizacji) do stanu naturalnego (temperatury środowiska zewnętrznego);
- obliczenie, z wykorzystaniem uogólnionych interpolacyjnych analitycznych zależności analizy statystycznej (przy znanym czasie obecności punktów tarczy w przedziale temperatur przekształceń polimorficznych przy monotonicznym chłodzeniu (lub znanej średniej prędkości chłodzenia w tym przedziale) oraz chemicznym składzie stali) procentowej zawartości obecnych szcztkowych fazowych składowych: martenzytu, bainitu oraz ferryto-perlitu;
- znajdowanie (na podstawie znanych, otrzymanych z wykorzystaniem statystycznej analizy, zależności mechanicznych właściwości stali od zawartości procentowej pozostałych po monotonicznym chłodzeniu szcztkowych fazowych składowych oraz składu chemicznego rozważnego typu stali) charakterystyk tych właściwości (twardości, wytrzymałości, lepkości itp);
- wyznaczanie szcztkowego stanu naprężeń na podstawie odpowiedniego zagadnienia termomechaniki, sformułowanego względem przemieszczeń. W zagadnieniu tym wyjściową jest szcztkowa deformacja, spowodowana różną procentową zawartością powstałych przy przekształceniu strukturalnym fazowych składowych (o innych objętościach właściwych);
- optymalizacja parametrów układu grzejącego (ilości i mocy źródeł i rozmieszczenie ich środków lokalizacji z wykorzystaniem metody parametrycznej optymalizacji względem procentowego udziału martenzytu (o kryterium minimum maksymalnej zawartości martenzytu) przy zmniejszeniu poziomu naprężeń szcztkowych dla zwiększenia plastycznych właściwości obszaru o wpływie termicznym.

Rozważane są dwa typy małowęglowych niskostopowych stali dla których znane są interpolacyjne zależności procentowej zawartości składowych fazowych od czasu obecności podobszarów (punktów) tarczy w przedziale temperatur przekształceń polimorficznych przy monotonicznym chłodzeniu i ich składu chemicznego.

W poszczególnych zagadnieniach schematu obliczeniowego charakterystyki materiału przyjęte są jako stałe. Ich wartości ustalone przy rozwiązywaniu teoretycznych i eksperymentalnych zagadnień spawania łukowego małowęglowych tarcz oraz napawania na nie wałków technologicznych podane są w literaturze.

Naprężenia szcztkowe obliczane są w stanie naturalnym, kiedy wartości mechanicznych charakterystyk odpowiadają temperaturze 20<sup>0</sup>C. Obecny skład fazowy, powstały przy chłodzeniu do 500<sup>0</sup>C, nie zmienia się przy kolejnym chłodzeniu (zgodnie ze znanymi wynikami eksperymentalnymi przy otrzymaniu

termokinetycznych diagramów rozpadu austenitu, które są podstawą wykorzystywanych w niniejszej pracy statystycznych zależności opisujących zawartość procentową składowych fazowych).

Metodę określenia i optymalizacji szczątkowego stanu fazowego oraz stanu naprężeń stalowej tarczy przy nagrzewaniu przez ruchome rozłożone źródła ciepła uogólniono na przypadek obecności innych (dodatkowych) warunków nagrzewania – różnej wyjściowej temperatury tarczy (wcześniejsze jednorodne podgrzewanie), dodatkowego stacjonarnego lokalnego pola temperatur (podgrzewanie towarzyszące), o zmiennej wartości parametru rozproszenia energii cieplnej w źródle ciepła.

Na podstawie analizy otrzymanych rozwiązań ustalono szereg nowych prawidłowości w rozkładach szczątkowych naprężeń oraz fazowych składowych w tarczy przy różnych termicznych parametrach reżymów nagrzewania.

S. BUDZ<sup>1</sup>, K. GHAZARYAN<sup>2</sup>, M. HACHKEVYCH<sup>1</sup>,  
O. HACHKEVYCH<sup>1,3</sup> A. STANIK-BESLER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Institute of Mechanics ANA (Armenia)

<sup>3</sup> Opole University of Technology (Poland)

## **MODELE I METODY W ZAGADNIENIACH OPTIMALIZACJI PRZEBIEGÓW NAGRZEWANIA TECHNOLOGICZNEGO KAWAŁKAMI JEDNORODNYCH SZKLANYCH POWŁOK**

Niejednorodne powłoki szklane, w szczególności, kawałkami jednorodnymi, są szeroko stosowane w praktyce inżynierskiej jako składowe elementy terażniejszych urządzeń różnego zastosowania. W procesie wyprodukowania, obróbki oraz eksploatacji poddane są one oddziaływaniu pól temperatury na skutek technologicznego lub towarzyszącego nagrzewania i obciążeń siłowych. Poziomy naprężeń i odkształceń, które przy tym powstają, istotnie zależą od charakteru rozkładu temperatury jak również od niejednorodności właściwości materiału. One mogą osiągać duże wartości (większe od dopuszczalnych) i powodować zmianę funkcjonalnych właściwości wyrobu, powstanie szczelin i zniszczenie powłoki. W związku z tym jest aktualne zagadnienie optymalizacji za stanem naprężeń przebiegów różnego typu nagrzewania takich powłok z uwzględnieniem ich niejednorodności przy zadanych obszarach dopuszczalnej zmiany temperatury i naprężeń, które wyrażają specyfikę oraz możliwości konkretnego sposobu technologicznego czy eksploatacyjnego nagrzewania, a również wytrzymałościowe właściwości materiału. Rozwiązanie takiego typu zagadnień jest ważnym przy opracowaniu optymalnych przebiegów cieplnych dla stosowanych sposobów termoobróbki szklanych kawałkami jednorodnych powłok lub elementów powłokowych terażniejszych urządzeń o różnym celowym zastosowaniu, w szczególności dla przemysłu próżniowego i energetycznego.

Przeanalizowany został istniejący w literaturze stan rozwiązania problemu optymalizacji względem naprężeń przebiegów nagrzewania kawałkami jednorodnych szklanych powłokowych elementów, konieczny dla opracowania różnych typów procesów produkcyjnych, powiązanych z wykorzystaniem obróbki termicznej.

Szeroko podane w literaturze metodyki celowej optymalizacji przebiegów cieplnych jednorodnych powłok oraz elementów powłokowych

nie pozwalają uwzględnić osobliwości procesów cieplnych i mechanicznych w obszarach otoczenia przekrojów sprzężenia rozważanych składowych części, określać kryteria z uwzględnieniem niejednorodności, a również opracowywać optymalne względem poziomu naprężeń przebiegi nagrzewania kawałkami – jednorodnych powłok przy zadanych obszarach zmiany temperatury i naprężeń oraz pewnych ograniczeniach o charakterze technologicznym.

W literaturze jest zaproponowane podejście do opracowania modelu fizyczno-matematycznego oraz formułowania zagadnień opisujących optymalny względem stanu naprężeń przebieg nagrzewania przy pomocy środowiska zewnętrznego kawałkami jednorodnych szklanych powłok obrotowych przy nieobecności i obecności źródeł ciepła oraz obciążenia siłowego w przypadku zadanych obszarów dopuszczalnych wartości temperatury i naprężeń. Optimalizacja realizuje się przez wybór temperatury środowiska zewnętrznego, która występuje jako funkcja sterowania. Przy tym przyjmuje się, że temperatura względem grubości powłoki opisywana jest wielomianem trzeciego stopnia, a warunkiem optymalności występuje minimum funkcjonu maksymalnych normalnych naprężeń. Dla opisu stanu termosprężystego powłoki wybrano zależności niepołączonej teorii termosprężystości cienkich powłok przy zależnym od temperatury współczynnikiem termicznej rozszerzalności materiału, które sprowadzone są do zależności kluczowych.

Rozwiązanie takiego optymalizacyjnego zagadnienia budowane jest na podstawie zasady po etapowej parametrycznej optymalizacji przy wykorzystaniu na etapie poszukiwania warunkowego minimum funkcjonu iteracyjnej metody lokalnych wariacji.

Z wykorzystaniem takiego podejścia na podstawie, zaproponowanych metod rozwiązano szereg zagadnień optymalizacji względem stanu naprężeń przebiegów nagrzewania różnych szklanych kawałkami jednorodnych (składających się z cylindrycznych sferycznych i stożkowych poszczególnych części) powłok, w szczególności, przy obecności źródeł i obciążenia siłowego, termo czułości dopuszczalnych naprężeń, oraz zagadnień powstających przy opracowaniu odrębnych technologii wytwarzania i obróbki elementów konkretnych szklanych wyrobów. Przeanalizowano optymalne przebiegi dla rozważanych powłok przy różnych warunkach wymiany ciepła, a również osobliwościach procesów technologicznych.

Zdaniem autorów z punktu widzenia ważności dla współczesnych zastosowań optymalnych przebiegów nagrzewania szklanych kawałkami jednorodnych powłok istotnymi są następujące kierunki kolejnych badań w tej problematyce:

- ✓ opracowanie i uogólnienie modeli matematycznych opisu termosprężystego kawałkami jednorodnych powłok, w szczególności z uwzględnieniem rzeczywistego rozkładu temperatury, termomechanicznego zachowania się szklanych materiałów przy podwyższonych temperaturach (procesów lepkości, strukturalnych zmian i ich relaksacji, a również temperaturowej zależności wszystkich charakterystyk materiału itp.);
- ✓ rozbudowa optymalnych przebiegów nagrzewania powłok przy uwzględnieniu możliwości lokalnej straty stateczności w związku z obecnością znacznych poziomów naprężeń ściskających;
- ✓ opracowanie więcej efektywnych dokładnych i przybliżonych algorytmów optymalizacji, podstawa których są terazniejsze teorie i metody optymalnego sterowania, w szczególności powiązane z wykorzystaniem jako funkcji sterowania źródeł i obciążenia siłowego, innych kryteriów optymalności i metod optymalnego poszukiwania;
- ✓ rozwinięcie teorii i metod rozwiązywania nieklasycznych prostych oraz ekstremalnych zagadnień fizyki matematycznej, sformułowanych w ramach zaproponowanych modeli i algorytmów; opracowanie metod eksperymentalnych badań fizyczno-mechanicznych procesów w powłokach przy istniejących przebiegach nagrzewania (w celu weryfikacji założeń, które przyjmuje się oraz zaproponowanych optymalnych przebiegów).

H. ŚCIEGOSZ

Politechnika Opolska

## ZASTOSOWANIE ANALIZY FALKOWEJ DO OPISU PROCESÓW OSCYLACYJNYCH

Analiza falkowa, zwana także teorią falek, jest ostatnio szeroko stosowana w przetwarzaniu sygnału. Może być z powodzeniem stosowana w różnych dziedzinach, takich jak elektrotechnika, analiza matematyczna, geofizyka, fizyka, astronomia, biologia, chemia [7], jak również w dziedzinie ekonomii. Jest obecna w sejsmologii i hydrodynamice. Używana jest również w analizie mowy i kontroli procesów przemysłowych [5]. Podobnie jak analiza Fouriera, analiza falkowa zajmuje się rozkładem funkcji względem zbioru funkcji bazowych, ale transformata Fouriera jest użytecznym narzędziem tylko do analizy składowych częstotliwościowych sygnału. Jednak transformata Fouriera na całej osi czasu nie może wskazać, w którym momencie osi czasu dana częstotliwość się pojawia. Rozwiązaniem tego problemu wydaje się być transformata falkowa. Pozwala ona na jednoczesne przedstawienie czasowych i częstotliwościowych właściwości sygnałów oraz prowadzi do aproksymacji sygnałów przez wyodrębnienie charakterystycznych elementów strukturalnych. Transformaty falkowe są oparte na małych falach o ograniczonym czasie trwania. Mają specjalne właściwości skalowania. Są one umiejscowione w czasie i częstotliwości [1, 2, 6].

Z drugiej strony, jak dobrze wiadomo, cykliczność reakcji Bielousowa-Żabotyńskiego dość często w literaturze naukowej jest postrzegana jako analog pulsów, rytmów okołodobowych, zmian hormonalnych i wielu innych [3]. Reakcja ta jest często używana jako przykład dla wzbudzenia w różnych ośrodkach fal oksydacyjnych. Taki układ reakcji chemicznych jest użyteczny do wskazania, że opisany powyżej aparat matematyczny może być stosowany w każdym obszarze tworzenia złożonych oscylacji.

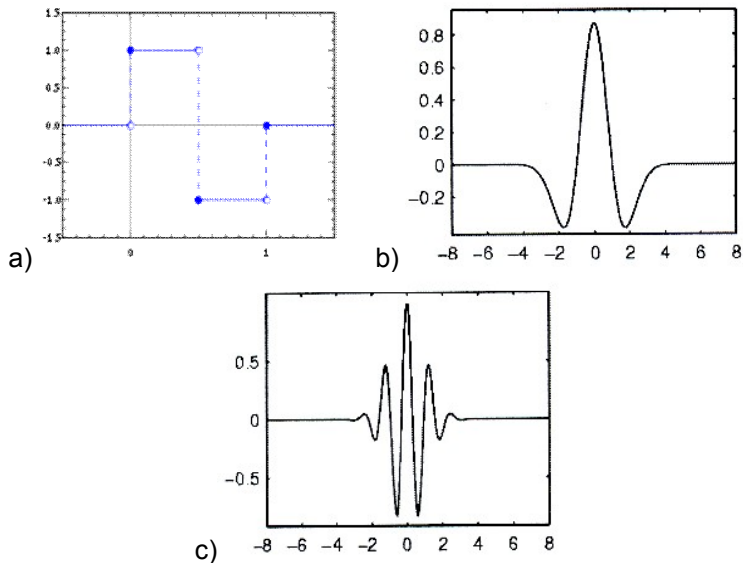
Ciągłą transformatę falkową funkcji  $f$  z przestrzeni Hilberta  $L^2(R)$  definiuje się poprzez:

$$Wf(s, \tau) = \left\langle f(t), \psi_{\tau, s}(t) \right\rangle = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (1)$$

gdzie  $\psi(t)$  – falka matka,  $s$  – współczynnik skali,  $\frac{1}{s}$  - częstotliwość,  $\tau$  – współczynnik przesunięcia.

Współczynniki falkowe  $Wf(s, \tau)$  są definiowane na płaszczyźnie czasowo-częstotliwościowej. Najczęściej używane falki to:

falka Haara  $\psi(t) = \begin{cases} 1 & \text{dla } 0 \leq t < \frac{1}{2} \\ -1 & \text{dla } \frac{1}{2} \leq t < 1 \\ 0 & \text{dla } t < 0 \text{ lub } t \geq 1 \end{cases}$ , falka “meksykański kapeluszyk”  $\psi(t) = \frac{2}{\sqrt{3}\sigma\pi^{1/4}} \left(1 - \frac{t^2}{\sigma^2}\right) e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$  oraz falka Morleta  $(\psi(t) = (e^{-i\omega_0 t} - e^{-\omega^2/2})e^{-t^2/2})$ .



Rys. 1. Falki: (a) Haara; (b) “meksykański kapeluszyk”; (c) Część urojona falki Morleta ( $\omega_0=5, \omega=0$ )

Wybór falki zależy od rodzaju sygnału, który jest badany. Sygnały o krótkim czasie trwania (wysokiej częstotliwości) najlepiej analizowane są przy użyciu wąskich falek. Do badania długotrwałych sygnałów (o niskiej częstotliwości) bardziej przystosowane są falki o szerszych nośnikach.

Poniżej przedstawiona obliczenia potwierdzają zalety transformaty falkowej do czasowo-częstotliwościowego analizowania różnych sygnałów wejściowych. Wyniki dotyczące analizy falkowej zostały zestawione z odpowiednimi transformacjami Fouriera. Pierwszy przykład dotyczy analizy rejestru potencjału uzyskanego dla regularnych oscylacji pojawiających się



podczas peroidycznego zaburzania reakcji chemicznej typu B-Z. Drugi przykład pokazuje zalety analizy falkowej sygnału chaotycznego wzbudzanego w tym samym układzie reakcji chemicznych. Szczegóły dotyczące eksperymentów zostały opisane w [4]. Następujące stężenia substratów zostały zastosowane: od  $1.6 \times 10^{-2} M$  do  $3.2 \times 10^{-2} M$ .  $KBrO_3$  jako nieorganiczny oksydant, jako kwas organiczny – szczawiooctowy ( $10^{-2} M$ ) w środowisku kwasu siarkowego ( $1.5 M$ ) z jonami manganu ( $4 \times 10^{-3} M$ ) jako katalizatorem.

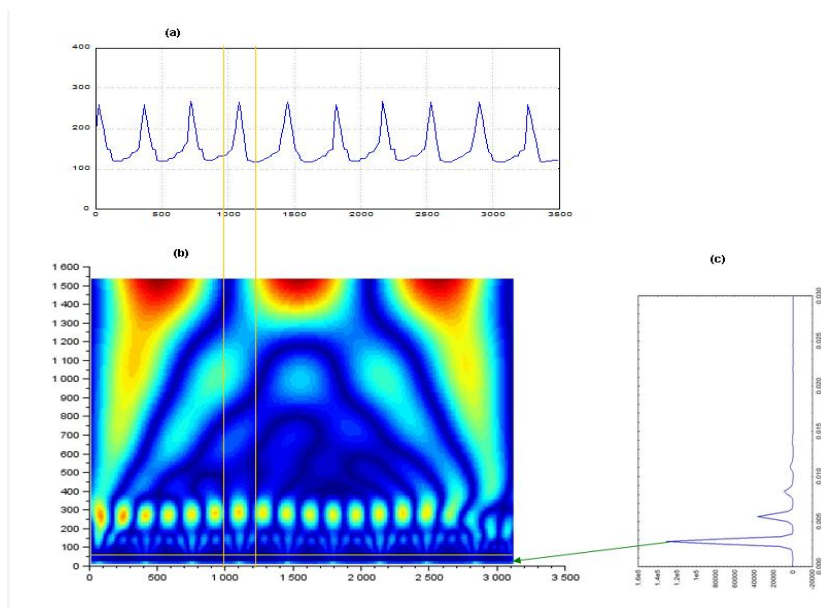


Fig. 2. Analiza falkowa regularnych oscylacji (okres zaburzania = 360s): (a) Rejestr potencjału elektrody platynowej (Pt [mV] vs Czas [s]); (b) Współczynniki ciągłej transformaty falkowej z falką Morleta jako falką-matką (Częstotliwość [Hz] vs Czas [s]); (c) Spektrum mocy.

Główna harmonika odpowiada najniższemu pasmu, w którym jasne plamki są związane ze szczytem każdej oscylacji. W wyższych częstotliwościach inne harmoniki są widoczne. Fakt najistotniejszy: obraz jest symetryczny względem osi czasu.

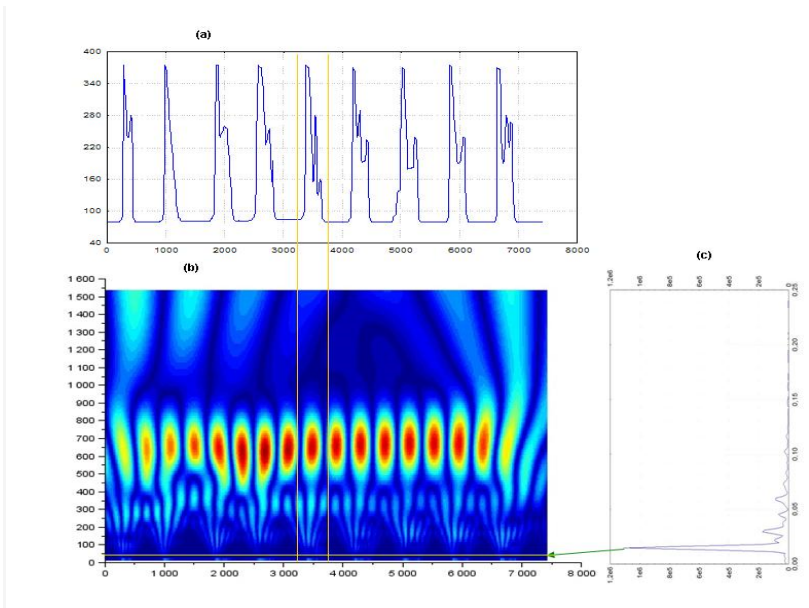


Fig. 3. Analiza falkowa sygnału chaotycznego (okres zaburzenia = 840s): (a) Rejestr potencjału elektrody platynowej (Pt [mV] vs Czas [s]); (b) Współczynniki ciągłej transformaty falkowej z falką Morleta jako falką-matką (Częstotliwość [Hz] vs Czas [s]); (c) Spektrum mocy.

Na rysunkach (b) przedstawiono wykresy konturowe  $Wf(s, \tau)$ . Taki rodzaj wykresu nazywa scalogramem. Poziome osie są osiami czasowymi z 1 sekundą jako jednostką. Pionowe osie są osiami skali. Skalowanie na nich jest następujące: dla falki Morleta jako falki-matki charakterystyczną stałą skali jest  $\sqrt{1/(2 \ln 2)}$  czyli w praktyce 0,849. Ponieważ Morleta falka-matka jest funkcją zespoloną na skalogramie przedstawiono jedynie wartości modułu współczynnika  $Wf(s, \tau)$ . Używana skala koloru oznacza jest następująca: ciemny niebieski odpowiada przekształconym minimum, a żółty przekształconym maksimum. Żółte plamy leżące wzdłuż linii są związane ze szczytem (maksimum) każdej oscylacji i ciemne niebieskie plamy wzdłuż tej linii są związane z minimum każdej oscylacji. W przypadku Morlet falki minima odpowiadają również żółte plamy, ponieważ moduł wartości ujemnej (rzeczywistej lub urojonej części współczynników transformacji Morleta) staje się liczbą dodatnią, tak więc minimalne wartości współczynników transformaty falkowej Morleta są przekształcane na maksymalnych wartości modułu tych współczynników.

Spectrum mocy zarówno dla oscylacji regularnych, jak i dla chaotycznych drgań są bardzo podobne, ale poprzez graficzne przedstawienie

współczynników transformaty falkowej te dwa różne zachowania mogą być łatwo odróżnić. W przypadku oscylacji chaotycznych w najniższym paśmie łatwo zauważyć nieregularne jasne plamy (rys. 3). Wiele nowych harmonik pojawia się, zwłaszcza w wyższych pasmach częstotliwości. Również oscylacje o niewielkiej amplitudzie generują boczne listki częstotliwości. Jest bardzo ważne, iż dokładne czasy dla lokalizacji każdego z takich listków mogą być łatwo znalezione, to znaczy dokładne momenty, w których pojawia się nowa rodzina oscylacji. Należy zauważyć, że lokalizacja częstotliwości przestrzeni czasowej za pomocą transformacji Fouriera nie jest w ogóle możliwa. Dzieje się tak dlatego, że funkcja modulująca (wykładnicza) do pomiaru gęstości częstotliwości w transformacji Fouriera nie jest określona na zbiorze zwartym: funkcja podcałkowa określająca transformatę Fouriera jest niezerowe na całej osi rzeczywistej. Transformata falkowa nie tylko wykrywa częstotliwości sygnału, ale także umiejscawia je na osi czasowej.

Paul Addison w swej pracy [2] umieszcza konkluzję, która najlepiej podsumowuje istotne zalety stosowania analizy falkowej: "Wierzę, że transformata falkowa, we wszystkich jej formach, stanie się narzędziem analizy czasowo-częstotliwościowej z wyboru. Dzięki możliwości jednoczesnego ustalania częstotliwości i czasu występowania określonych sygnałów ich występowania, transformaty falkowe mają wiele do zaoferowania społeczności naukowej. Mała fala, ale bez wątpienia, z wielką przyszłością".

## LITERATURA

1. Addison P. S., *The Illustrated Wavelet Transform Handbook: Introductory Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance*, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia 2002, ISBN 0-7503-0692-0;
2. Addison P.S. The little wave with the big future, *Physics World*, march 2004;
3. Tyson J. J., A quantitative account of oscillations, bistability, and travelling waves in the Belousov-Zhabotinsky reaction, "Oscillations and Travelling Waves in Chemical systems", edited by R. J. Field, M. Burger "Eds. John Wiley & Sons", New York, 1985;
4. Sciegosz H.: Frequency and Correlation Characteristic of the Hopf Bifurcation Chemical Oscillatory Patterns, *J. Chem. and Chem. Eng.* 6, 2012, p. 284-291.
5. Białasiewicz J., *Falki i aproksymacje*, Warszawa, WNT 2000.
6. "From Fourier Analysis to Wavelets", Course Notes, SIGGRAPH 99, Organizers: Jonas Gomes, Luiz Velho, Instituto de Matematica Pura e Aplicada, IMPA, Rio de Janeiro, Brazil.
7. Kiss I. Z., Lv Q., Organ L., Hudson J. L., Electrochemical bursting oscillations on a high-dimensional slow subsystem, *Phys. Chem. and Chem. Phys.*, 2006, 8, p. 2707-2715.



# I. NAUKI PODSTAWOWE W PROCESACH WYTWÓRCZYCH





V. FLYUD<sup>1,2</sup>, Yu. GOLOVATY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Opolska (Polska)

<sup>2</sup>Narodowy Uniwersytet Lwowski imienia Iwana Franki (Ukraina)

**ZAGADNIENIE BRZEGOWE DLA SILNIE ZABURZONEGO  
RÓWNAŃ PARABOLICZNEGO W GRAFIE GEOMETRYCZNYM O  
RÓŻNYCH WSPÓLCZYNNIKACH PRZEWODNOŚCI CIEPLNEJ  
KRAWĘDZI. WYPADEK CZĘŚCIOWEGO ZDEGENEROWANIA**

Zagadnienia brzegowe dla równań różniczkowych w grafach geometrycznych są modelami rozmaitych zjawisk odkształcenia, rozpowszechniania, drgania sprężystych konstrukcji sieciowych. Takie zagadnienia opisują zjawiska rozpowszechniania fali, sygnału w sieci, procesy dyfuzyjne w sieci itp. W szczególności, pewne modele są opisywane silnie zaburzonymi zagadnieniami brzegowymi dla równań różniczkowych w grafach geometrycznych. W danej pracy rozpatrywane jest zagadnienie brzegowe dla silnie zaburzonego równania parabolicznego w grafie geometrycznym o różnych współczynnikach przewodności cieplnej krawędzi. Stosując metodę warstwy brzegowej skonstruowano rozwinięcie asymptotyczne dowolnego rzędu rozwiązania zagadnienia brzegowego dla równania parabolicznego o małym współczynniku przy starszej pochodnej względem przestrzennej zmiennej.

Oznaczmy przez  $V = \{a, a_1, \dots, a_n\}$  zbiór węzłów a przez  $E = \{(a, a_1), \dots, (a, a_n)\}$  zbiór krawędzi grafu. Wtedy  $\Gamma = \Gamma(V, E)$  jest grafem o  $n$  krawędzi o wspólnym wierzchołku  $a$ , łączących brzegowe węzły  $a_j$ . Zakładamy że krawędzie grafu  $\gamma_j = (a, a_j)$  są odcinkami. Każdą krawędź  $\gamma_j$  poddamy naturalnej parametryzacji i przez  $x_j = [0, L_j]$  oznaczmy sparametryzowaną zmienną, gdzie  $x_j = 0$  odpowiada wierzchołku  $a$ , a  $L_j$  jest długość krawędzi  $\gamma_j$ . Więc litera  $x$  bez wskaźnika oznacza dowolny punkt grafu  $\Gamma$ .

Niech  $\dot{\gamma}_j = \gamma_j \setminus \{a, a_j\}$  jest zbiorem punktów wewnętrznych krawędzi  $\gamma_j$  oraz  $\dot{\Gamma} = \bigcup_{j=1}^n \dot{\gamma}_j$ . Wprowadźmy oznaczenia  $Q^T = \dot{\Gamma} \times (0, T)$  oraz  $Q_j^T = \dot{\gamma}_j \times (0, T)$  dla  $T > 0$  ( $j = \overline{1, n}$ ). Niech  $u = u(x, t)$  jest funkcją zdefiniowaną w  $Q^T$ . Przez  $u_j = u_j(x, t)$  oznaczamy funkcję zredukowaną do zbioru  $Q_j^T$ .

Graf  $\Gamma$  podzielimy na podgrafy  $\Gamma_j$  ( $j = \overline{1, k}$ ), których każdy zawiera  $n_j$  krawędzi o wspólnym wierzchołku  $a$  oraz zakładamy że spełnione są następujące warunki

$$i) \bigcup_{j=1}^k \Gamma_j = \Gamma, \quad \Gamma_i \cap \Gamma_j = \emptyset \quad (i, j = \overline{1, k}, i \neq j);$$

$$ii) \sum_{j=1}^k n_j = n, \quad n_j \in \mathbb{N} \quad (j = \overline{1, k});$$

$$iii) p(x; \varepsilon) = \varepsilon^{p_j} \quad \text{jeśli } x \in \gamma_{j_i} \in \Gamma_j, \text{ w szczególności } p(x) = p_j \quad \text{jeśli } x \in \Gamma_j \\ (j = \overline{1, k}, i = \overline{1, n_j});$$

$$iv) 0 = p_1 < p_2 < \dots < p_k;$$

$$v) L(x) = L_{j_i} \quad \text{jeśli } x \in \gamma_{j_i} \quad (j = \overline{1, k}, i = \overline{1, n_j}).$$

Jeśli  $u^\varepsilon(x, t)$  oznacza temperaturę układu krawędzi w punkcie  $x \in \Gamma$  w chwili czasu  $t$ , wtedy  $u^\varepsilon$  spełnia

- równanie paraboliczne:

$$\frac{\partial u^\varepsilon}{\partial t} - p(x; \varepsilon) \frac{\partial^2 u^\varepsilon}{\partial x^2} + q(x) u^\varepsilon = f(x, t), \quad (x, t) \in Q^T, \quad (1)$$

- warunek początkowy :

$$u^\varepsilon(x, 0) = \varphi(x), \quad x \in \Gamma, \quad (2)$$

- warunki brzegowe:

$$u_{j_i}^\varepsilon(a_{j_i}, t) = \mu_{j_i}(t), \quad t \in (0, T) \quad (j = \overline{1, k}, i = \overline{1, n_j}), \quad (3)$$

- warunek ciągłości w wspólnym węźle:

$$u_{j_i}^\varepsilon(a, t) = u_{r_s}^\varepsilon(a, t), \quad \forall j, r = \overline{1, k}, \quad \forall i = \overline{1, n_j}, \quad \forall s = \overline{1, n_r}, \quad (4)$$

- warunek Kirchhoffa w wspólnym wierzchołku:

$$\sum_{j=1}^k p(x_j; \varepsilon) \sum_{i=1}^{n_j} \frac{\partial u_{j_i}^\varepsilon}{\partial x_{j_i}} = 0 \quad t \in (0, T). \quad (5)$$

gdzie  $\varepsilon$  mały dodatni parametr. Przy pewnych założeniach wobec danych funkcji  $q$ ,  $f$ ,  $\varphi$ ,  $\mu$  dla rozwiązania zaburzonego zagadnienia (1)-(5) zostało skonstruowane rozwinięcie asymptotyczne dowolnego rzędu względem potęg małego parametru. Należy zauważyć, że według warunku *iv*) równanie (1) na podgrafie  $\Gamma_1$  nie degeneruje się. Wyprowadzono oszacowanie asymptotyki rozwiązania zagadnienia.



K. WOJTECZEK – LASZCZAK

Politechnika Opolska

## NIERÓWNOŚCI TYPU HARDY’EGO WYŻSZYCH RZĘDÓW

Nierówności typu Hardy’ego mają szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach wiedzy. Dlatego też są one dzisiaj szeroko opisane dla wyższych rzędów, różnych stopni i przypadków. Jednak metody ich otrzymywania, a w konsekwencji wyniki uzyskiwane z ich zastosowaniem, są istotnie różne.

Stosowana jednolita metoda otrzymywania nierówności całkowych, pozwala na pominięcie pewnych założeń na funkcje wagowe. Ma to istotne znaczenie np. w nierównościach z wagami Czebyszewa stosowanymi, między innymi, w probabilistyce. Dlatego też celowym jest dalsze rozszerzanie tej metody na inne rodzaje nierówności.

Po raz pierwszy została ona wprowadzona przez Florkiewicza i Rybarskiego w pracy “Some integral inequalities of Sturm-Liouville type”, *Colloq. Math.* **36** (1976), 127-141 dla nierówności całkowych postaci

$$\int_I sh^2 dt \leq \int_I rh'^2 dt.$$

W wyniku dalszych analiz została ona rozwinięta na różnego typu nierówności pierwszego rzędu, w tym także na nierówności typu Hardy’ego postaci

$$\int_a^b s |h|^p dt \leq \int_a^b r |h'|^p dt,$$

dla  $p > 1$  otrzymane przez Florkiewicza w pracy “Some integral inequalities of Hardy type”, *Colloq. Math.* **40** (1980), 321-330.

W pracach “Some second order integral inequalities of generalized Hardy type”. *Proc. Roy. Soc. Edinburgh Sec. A.* **129** (1999), 947-958 oraz “On some further Wirtinger-Beesack integral inequalities”. *Demonstratio Mathematica.* **32** (1999), 495-502 Florkiewicz i Wojteczek otrzymali tą metodą nierówności typu Hardy’ego drugiego rzędu

$$\int_I sh^2 dt \leq \int_I rh''^2 dt$$

w istotnie różnych klasach funkcji  $h$ , a następnie rozwinęli ją na inne typy nierówności rzędu drugiego.

Przy użyciu omówionej metody otrzymano również nierówności Hardy'ego trzeciego rzędu. Mianowicie, w pracy "On some Wirtinger-Beesack Integral Inequalities". *Electronic Journal of Differential Equations*. **98** (2005), 1-7 Muminov uzyskał nierówność

$$\int_I sh^2 dt \leq \int_I rh''''^2 dt$$

Otrzymaną w pewnej klasie funkcji  $h$  z wykorzystaniem rozważanego podejścia.

Cz. GÓRECKI<sup>1</sup>, T. GÓRECKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Opolska,

<sup>2</sup>Uniwersytet Opolski

**KINETYKA KRYSTALIZACJI SZKŁA METALICZNEGO  
Co<sub>66</sub>Ni<sub>12</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> BADANE METODAMI EGZOEMISJI ELEKTRONÓW  
(EEE), TERMICZNEJ ANALIZY RÓŻNICOWEJ (DTA) I  
TERMOMAGNETOMETRII (TM)**

Badano stabilność termiczną i kinetykę krystalizacji szkła metalicznego Co<sub>66</sub>Ni<sub>12</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> wykorzystując jednocześnie temperaturowe zależności natężenia fotostymulowanej egzoemisji elektronów (EEE), namagnesowania (TM) i sygnału termicznej analizy różnicowej (DTA). Porównanie tych zależności umożliwia badanie przemian strukturalnych zachodzących w warstwie powierzchniowej (EEE) oraz w objętości próbki (DTA, TM) [3]. Krystalizacja jest procesem aktywowanym termicznie. Parametry krystalizacji powierzchniowej i objętościowej (energia aktywacji, temperatura) wyznaczono na bazie pomiarów EEE i DTA (lub TM) odpowiednio. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów EEE, DTA i TM stwierdzono, że proces krystalizacji powierzchniowej i objętościowej badanego szkła metalicznego zachodzi w dwu stadiach. Systematyczne pomiary EEE, DTA i TM przeprowadzono przy różnych szybkościach ogrzewania próbki [2]. Pozwoliło to wyznaczyć energie aktywacji dwu stadiów procesu krystalizacji powierzchniowej i objętościowej.

Energie aktywacji dwu stadiów procesu krystalizacji wyznaczono z zależności Ozawy:

$$\ln V = A - E/kT$$

gdzie: V – prędkość ogrzewania próbki, A – stała, E – energia aktywacji, k – stała Boltzmanna, T – temperatura krystalizacji.

Stwierdzono że:

- energie aktywacji, (stabilność termiczna) dwu stadiów procesu krystalizacji powierzchniowej badanego szkła metalicznego jest znacznie mniejsza od energii aktywacji krystalizacji objętościowej [1,2],
- stabilność termiczna strony matowej (m) szkła jest nieznacznie niższa od analogicznej wartości otrzymanej dla strony błyszczącej (b) taśmy,

- procesowi krystalizacji objętościowej towarzyszy anomalny przebieg krzywej namagnesowania, charakterystyczny dla materiałów w których zachodzi kilka przemian magnetycznych [3],
- kombinacja metod EEE, DTA i TM może być pomocna w badaniach przemian strukturalnych zachodzących w szklach metalicznych, a także pozwala wykryć skłonność badanego materiału do „przedwczesnej” krystalizacji powierzchniowej, co jest niemożliwe przy użyciu jednej z wymienionych metod.

- [1] **Luborsky F.E.**, (eds.), Amorphous Metallic Alloys, General Electric Corporate Research and Development, Schenectady, 1983.
- [2] **Górecki Cz. Górecki T. Szymura S.**: Surface and volume crystallization of metallic glass  $(\text{Ni}_{50}\text{Zr}_{50})_{99,9}\text{P}_{0,1}$  as investigated by exoelectron emission (EEE) and differential thermal analysis (DTA) Mod. Phys. Lett. **16** (2002) 87-92
- [3] **Górecki Cz., Górecki T.**: Crystallization kinetics of metallic glass  $\text{Co}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$  as studied by differential thermal analysis (DTA) and thermomagnetometry (TM) techniques, Oficyna Wydawnicza PO, Opole, 2012, Studia i Monografie, nr 276, 75-82.

A. MARYNOWICZ

Politechnika Opolska

**IDENTYFIKACJA POJEMNOŚCI CIEPLNEJ CERAMICZNEGO  
MATERIAŁU POROWATEGO  
W NIESTACJONARNYM POMIARZE TERMOWIZYJNYM**

Badania termowizyjne struktury porowatych materiałów i elementów budowlanych są obecnie intensywnie rozwijane. Kamera termowizyjna jest narzędziem badawczym o unikalnych cechach. Pozwala na przeprowadzenie w pełni bezkontaktowego, wielopunktowego pomiaru temperatury na całej powierzchni próbki, w bardzo krótkim czasie, z pominięciem zjawisk związanych z bezwładnością cieplną czujnika temperatury [1, 2]. Intensywny rozwój technologii laserów półprzewodnikowych oraz jej łatwa dostępność umożliwiają zastosowanie miniaturowych modułów laserowych do wytworzenia powierzchniowego źródła ciepła, co zostało wykorzystane w przedstawionych niżej badaniach.

W celu wyznaczenia pojemności cieplnej porowatego materiału ceramicznego zaproponowano kilkuetapową metodologię, opisaną poniżej. W pierwszej kolejności przyjęto model przepływu ciepła przez analizowany ośrodek, z warunkami brzegowymi drugiego rodzaju. Ze względu na dużą zmienność właściwości powierzchni materiałów porowatych, a szczególnie zdolność adsorpcji strumienia energii na powierzchni, konieczne było określenie, w drugiej kolejności, efektywnych parametrów zaadsorbowanej części wiązki laserowej w celu sformułowania warunku brzegowego specyficznego dla danego materiału. Otrzymane w ten sposób parametry strumienia energii posłużyły w trzecim etapie badań do wyznaczenia pojemności cieplnej badanego materiału ceramicznego. Referencyjne pomiary właściwości cieplnych badanego materiału wykonano za pomocą aparatury o wysokiej dokładności (Netzsch LFA427).

Na potrzeby niniejszej pracy przyjęto klasyczny model bezźródłowego przewodzenia ciepła przez materiał, dla zadania dwuwymiarowego we współrzędnych cylindrycznych (rys. 1a), w postaci

$$\frac{\rho c_p}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}. \quad (1)$$

Warunek początkowy  $T = T_0$  w całej objętości (dla  $t = 0$ ), zaś warunki brzegowe mają postać

$$-\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = \frac{2Q_{abs}}{\pi R_{abs}^2} e^{-\frac{2r^2}{R_{abs}^2}} \quad \text{dla } z=0, \quad (2)$$

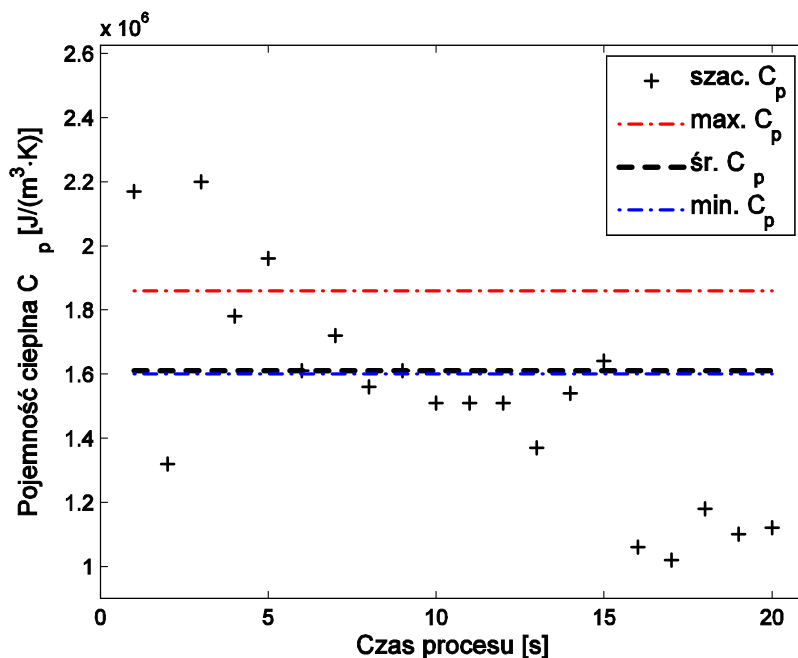
$$-\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=N} = 0 \quad \text{dla } r=N, \quad -\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=M} = 0 \quad \text{dla } z=M. \quad (3)$$

W niniejszej pracy założono, że  $Q_{abs} [W]$  oznacza tu moc zaadsorbowanej części wiązki laserowej, zaś  $R_{abs} [m]$  jest jej promieniem gaussowskim. Parametry występujące w równaniu (2), tzn.  $\mathbf{u} = [Q_{abs}, R_{abs}]$ , wyznaczono za pomocą, często stosowanej w odwrotnych zagadnieniach cieplnych [3], techniki minimalizacji funkcji celu,  $F(\mathbf{u})$ , w postaci

$$\mathbf{u} = \arg \min_{\mathbf{u}} F(\mathbf{u}) = \sum_{i=1}^n [Y_i(r, t)|_{z=0} - T_i(\mathbf{u}, r, t)|_{z=0}]^2, \quad (4)$$

w której  $Y_i(r, t)$  oznaczono wektor temperatur zmierzonych na powierzchni ( $z=0$ ) w  $i$ -tym punkcie w chwili czasowej  $t$ , zaś  $T_i(\mathbf{u}, r, t)$  jest wektorem temperatur obliczonych w tych samych punktach (metodą różnic skończonych), dla określonego zestawu parametrów  $\mathbf{u}$ .

Analiza wyników pozwoliła określić miarodajny czas wykonywania pomiarów – w analizowanym przypadku przyjęto jako wynik czas między 6-15s (rys1). Na rysunku zaznaczono zakres średnich pojemności cieplnych, określony za pomocą pomiarów referencyjnych.



Rys. 1. Oszacowanie pojemności cieplnej  $C_p$  cegły klinkierowej

### Literatura:

- [1] Bison P., Bortolin A., Cadelano G., Ferrarini G., Grinzato E.: Comparison of some thermographic techniques applied to thermal properties characterization of porous materials, 11th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography QUIRT 2012, Naples, Italy
- [2] Furmański P., Wiśniewski T.S.: Determination of Moisture Content in a Porous Building Material Using Infra-red Based Method, ISESCO Journal of Science and Technology, Volume 5, No. 7, May, 2009, pp.71-75
- [3] Ozisik M.N., Orlande H.R.B: Inverse Heat Transfer: Fundamentals and Applications, Taylor and Francis, New York, 2000

O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, R. MUSIJ<sup>3</sup>, H. STASIUK<sup>1</sup>, J. SZYMCZAK<sup>2</sup>,  
D. TARLAKOVSKII<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and  
Mathematics NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>3</sup> National University "Lvivs'ka Politechnika" (Ukraine)

<sup>4</sup> Moscow Aviation Institute (State University of Aerospace  
Technologies), Institute of Mechanics Lomonosov Moscow State  
University (Russia)

### **PROBLEMY TERMOMECHANIKI CIAŁ PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY IMPULSOWYCH ODDZIAŁYWANIACH ELEKTROMAGNETYCZNYCH**

Wykorzystywane krótkotrwałe oddziaływania o różnej naturze fizycznej oraz cieplne i elektromagnetyczne prowadzą do powstania w elementach konstrukcji i urządzeń niestacjonarnych połączonych pól fizyczno-mechanicznych, poziomu których mogą powodować stratę nośności konstrukcji, zmianę funkcjonalnych właściwości elementów urządzeń, zmniejszenie trwałości ich eksploatacji. Dlatego konieczną jest analiza parametrów powstających elektromagnetycznych, cieplnych oraz mechanicznych procesów w ciałach przewodzących elektryczność na podstawie adekwatnych modeli matematycznych, opisujących przebieg tych procesów przy ich wzajemnym oddziaływaniu w zależności od charakteru zmiany w czasie impulsowego PEM warunków wymiany ciepła z otoczeniem oraz warunków zewnętrznego siłowego obciążenia. Badanie omówionych procesów pozwala dokładniej i pełniej przeanalizować zachowanie materiałów i elementów konstrukcji w warunkach niestacjonarnego elektromagnetycznego, cieplnego i mechanicznego obciążenia, ocenić granicę zastosowania teorii, w których pomija się powiązanie rozważanych procesów.

Wiadomo że impulsowe oddziaływanie elektromagnetyczne jest podstawą funkcjonowania szeregu urządzeń elektromagnetycznych o różnym celowym przeznaczeniu, a również wykorzystywane jest w technologiach współczesnych obróbk elektromagnetycznych. Impulsowy charakter zmiany w czasie PEM prowadzi do powstania szeregu osobliwości oddziaływania wzajemnego pola i kontinuum materialnego, które nie są właściwe dla pól ustalonych oraz quasi ustalonych. W moc tego dla rozwiązania problemów rozbudowy urządzeń dla usunięcia obcych nawarstwień lub wytwarzania silnych impulsowych PEM dla naukowych i technicznych zapotrzebowani, prognozy prawidłowości zachodzących fizyczno-mechanicznych procesów, a również opracowania racjonalnych reżimów magnetyczno-impulsowej obróbki lub



eksploatacji wyrobów przy impulsowych oddziaływaniach elektromagnetycznych (w szczególności impulsowych z modulacją amplitudy) koniecznym jest opracowanie szeregu technicznych, eksperymentalnych oraz teoretycznych zagadnień termomechaniki, elektrotechniki i elektromagnetotermomechaniki ciał przewodzących elektryczność.

Na podstawie znanych danych opracowań inżynierskich i przeprowadzonych badań ustalono zależności charakterystyk sygnału modulującego oraz odpowiednich prędkości nagrzewania i odkształcenia ciał przewodzących od technicznych parametrów układów kondensatorowo – solenoidalnych i parametrów wysokoczęstotliwościowych drgań elektromagnetycznych w impulsowych przebiegach eksploatacji. Eksperymentalnie ustalono klasę „nieniszczących” impulsowych PEM, przy parametrach których dotrzymana jest nośność rozważanych elementów konstrukcji lub urządzeń.

Rozwiązanie teoretycznych zagadnień termomechaniki ciał przewodzących przy impulsowych obciążeniach elektromagnetycznych powiązane jest z rozwinięciem ogólnej teorii termomechaniki ciał przewodzących elektryczność – ważnego obszaru mechaniki ciała stałego odkształcalnego, jak również z opracowaniem konkretnych modeli i metod termomechaniki ciał przewodzących przy oddziaływaniu różnych typów obciążeń elektromagnetycznych, a także z potrzebami powstającymi przy rozbudowie technologii celowej obróbki elementów konstrukcji i urządzeń z wykorzystaniem PEM oraz reżymów eksploatacji takich elementów, pracujących w warunkach obciążeń elektromagnetycznych.

R. MUSIJ<sup>1,3</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>2</sup>, H. STASIUK<sup>1</sup>, D. TARLAKOVSKII<sup>4</sup>,  
R. TERLECKII<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and  
Mathematics NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>3</sup> National University "Lvivs'ka Politechnika" (Ukraine)

<sup>4</sup> Moscow Aviation Institute (State University of Aerospace  
Technologies), Institute of Mechanics Lomonosov Moscow State  
University (Russia) (Russia)

## **METODYKA ROZWIĄZYWANIA PŁASKIEGO DYNAMICZNEGO ZAGADNIENIA TERMOMECHANIKI DLA WARSTWY PRZEWODZĄCEJ ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY NIEJEDNORODNYM NIESTACJONARNYM ELEKTROMAGNETYCZNYM ODZIAŁYWANIU**

Sformułowano płaskie dynamiczne zagadnienie termomechaniki dla warstwy o płasko równoległych podstawach przy oddziaływaniu dowolnego niejednorodnego (względem poprzecznej współrzędnej) niestacjonarnego pola elektromagnetycznego (PEM).

Jako wyjściowy przyjęto powiązany układ dwuwymiarowy równań elektrodynamiki i termosprężystości dla przypadku płaskiego stanu odkształcalnego. Powiązanie te jest uwzględnione przez produkcję ciepłą oraz siły ponderomotoryczne, wytwarzane przez PEM, a również termosprężyste rozproszenie energii.

Warstwa przebywa w warunkach konwekcyjnej wymiany ciepła ze środowiskiem zewnętrznym, a jej podstawy nie są obciążone. Materiał warstwy jest jednorodnym, izotropowym oraz nieferromagnetycznym. Jego fizyczno – mechaniczne charakterystyki rozważane są jako stałe w istniejącym przedziale zmiany temperatur.

Ustalone pozostałe odpowiednie początkowo – brzegowe zagadnienia względem funkcji kluczowych, za które przyjęto: styczną względem podstaw warstwy składową wektora natężenia pola magnetycznego, temperaturę oraz odpowiednie składowe tensora naprężeń dynamicznych.

Rozwiązanie otrzymanych zagadnień o niejednorodnych warunkach początkowych i brzegowych poszukiwane jest z zastosowaniem znanego w literaturze podejścia, przy którym rozwiązanie zagadnienia sprowadza się do odpowiednich zagadnień przy warunkach jednorodnych. Przy rozbudowie rozwiązań już takich zagadnień wykorzystuje się metodę aproksymacji

rozkładów wszystkich funkcji kluczowych względem współrzędnej grubościowej przy pomocy wielomianu trzeciego stopnia.

Współczynniki wielomianów aproksymujących wyrażane są przez liniową kombinację uśrednionych względem grubościowej współrzędnej charakterystyk funkcji kluczowych oraz zadane na podstawach warstwy warunki brzegowe. W wyniku wejściowe dwuwymiarowe względem przestrzennych zmiennych zagadnienia sprowadzone są do jednowymiarowych na uśrednione charakterystyki funkcji kluczowych.

Z wykorzystaniem przekształcenia Fouriera względem poprzecznej współrzędnej i następnie – Laplace’a względem czasu wyznaczone są poszukiwane uśrednione charakterystyki i kolejno – funkcje kluczowe.

Zaproponowana metoda pozwala na zapisanie ogólnych wyrażeń funkcji kluczowych wyjściowych zagadnień początkowo-brzegowych w postaci splotów odpowiednich funkcji, które opisują jednorodne rozwiązania oraz zadane niejednorodne warunki brzegowe i początkowe.

R. MUSIJ<sup>1,3</sup>, M. SOŁODYAK<sup>1</sup>, H. STASIUK<sup>1</sup>, J. SZYMCZAK<sup>2</sup>,  
R. TERLECKII<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and  
Mathematics NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>3</sup> National University "Lviv'ska Politechnika" (Ukraine)

**ZAGADNIENIA TERMOMECHANIKI OKRESLAJĄCE  
WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNE I MECHANICZNE WARSTWY  
PRZEWODZĄCEJ ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY ODDZIAŁYWANIU  
IMPULSOWEGO POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO O  
MODULACJI AMPLITUDY I OKRESOWYM ROZKŁADZIE  
WZGLĘDEM POPRZECZNEJ WSPÓLRZĘDNEJ**

Sformułowane jest zagadnienie o wyznaczeniu w ciągu trwania impulsu parametrów, opisujących termiczne i mechaniczne właściwości nieferromagnetycznej warstwy przewodzącej przy oddziaływaniu impulsowego pola elektromagnetycznego o modulacji amplitudy, zadanego wartościami stycznymi składowych  $H_y(z, x, t)$  na podstawach  $z = \pm h$  określonych zależnościami.

$$H_y^{\pm}(x, t) = H_0 \varphi_0(t) \sin(\omega t + \phi) \cos(\alpha x)$$

We wzorze tym  $\varphi_0(t)$  - funkcja modulująca sygnał drgań nośnych o częstotliwości  $\omega$ ,  $\phi$  - faza początkowa,  $H_0$  - maksymalna wartość natężenia pola magnetycznego w przedziale impulsu,  $\alpha$  - częstotliwość zmiany pola magnetycznego względem poprzecznej współrzędnej  $x$ . Przy tym cieplne i mechaniczne zachowanie warstwy powiązuje się z oddziaływaniem ciepła Joule'a oraz sił ponderomotorycznych. Uwzględnia się znane rezultaty badań o nieistotnym wpływie termosprężystego rozpraszania energii na wartości temperatury i naprężeń w ciałach przewodzących przy oddziaływaniu jednorodnych impulsowych pól elektromagnetycznych (PEM) o modulacji amplitudy przy trwaniu  $t_i$  impulsu modulującego  $10^{-6} \text{ s} \leq t_i \leq 10^{-7} \text{ s}$ , a również eksperymentalnych wyników o adiabatycznym charakterze procesów

nagrzewania i odkształcania przy pomocy takich impulsowych PEM w czasie trwania impulsu.

Rozważane są szeroko stosowane w fizyce silnych pól magnetycznych oraz w technologiach impulsowej elektromagnetycznej obróbki materiału typy impulsowych pól: w przebiegach o impulsowym sygnale modelującym oraz w przebiegach o charakterze sinusoidy tłumionej.

Otrzymane są ogólne rozwiązania odpowiedniego dwuwymiarowego zagadnienia dla warstwy przy określonym poprzednio zadaniu PEM. Przy tym wykorzystuje się zespolone podania funkcji trygonometrycznych. Podania te pozwalają na istotne uproszczenie przekształceń analitycznych, w szczególności pozwalają na zamianę całkowania i różniczkowania wyrażeń posiadających iloczyny funkcji wykładniczych i trygonometrycznych na całkowanie i różniczkowanie funkcji wykładniczych. W konsekwencji takie podania prowadzą do istotnego zmniejszenia objętości oprogramowania i skrócenia czasu obliczeń.

Przeanalizowano osobliwości rozkładów parametrów, opisujących właściwości cieplne i mechaniczne warstwy wyprodukowanej z wybranych materiałów przy różnych czasowych i przestrzennych charakterystykach impulsów.

G. KRÓLCZYK, A. STANIK-BESLER

Politechnika Opolska

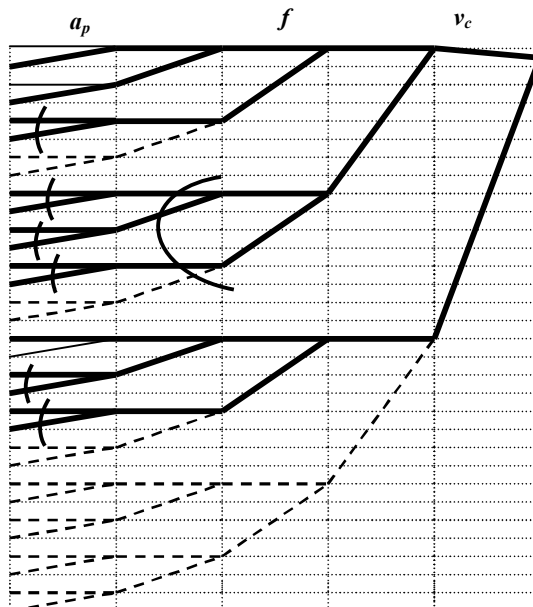
**WPLYW ZMIAN WARTOŚCI PARAMETRÓW KRYTERIALNEJ  
FUNKCJI CELU W METODZIE SIATKOWO-DRZEWIASTEJ DLA  
TOCZENIA STALI DUPLEX**

Analizując problem oceny istotności wpływu parametrów technologicznych w procesie toczenia stali typu duplex na trwałość ostrza otrzymuje się pewien zbiór danych obrazujących ten proces. Opisywane badania dotyczą trwałości ostrza w procesie toczenia. Były one przeprowadzane w warunkach przemysłowych. Parametrami, których wpływ badano były prędkość skrawania  $v_c$  posuw  $f$  i głębokość skrawania  $a_p$ . Dla wybranych parametrów zastosowano kodowanie wielowartościowe.

Code	$v_c$	$f$	$a_p$
0	76	0,068	1
1	136	0,117	2
2	195	0,136	x

Za kryterialną funkcję celu wybrano chropowatość Rz.

W pracy przedstawiono wielowartościową metodę siatkowo – drzewiastą jako uogólnienie metody dwuwartościowej. Obraz przykładowej analizy przedstawiono na siatce:



Określenie ważności parametrów skrawania w metodzie siatkowo-drzewiastej ustala się analizując położenie na odpowiednim poziomie drzewa logicznego.

Otrzymano sześć różnych możliwości położenia na drzewie logicznym:

- w przypadku gdy parametry  $a_p$  i  $v_c$  znajdują się koło siebie w kolejności  $a_p, v_c$  to drzewo logiczne ma 13 i 14 gałązek;
- w przypadku gdy parametr  $a_p$  znajduje się na najwyższym poziomie drzewa logicznego to występuje 12 gałązek;
- w przypadku gdy parametry  $a_p$  i  $f$  występują koło siebie to drzewo logiczne ma 10 i 11 gałązek.

Zastosowanie metody siatkowo-drzewiastej od analizy istotności parametrów  $v_c, f, a_p$  dało wskazania co do kolejności zmian wybranych parametrów. Układ kolejności zmian powinien być  $f, a_p, v_c$ , poczynając od korzenia co daje najmniejszą ilość zmian ustalonych parametrów.

Określenie optymalnej kolejności parametrów może pomóc projektantom w celu określenia ilości eksperymentów.

Literatura:

- [1] PA N.M.N., SARHAN A.A.D., SHUKOR M.H.A.: Optimizing the cutting parameters for better surface quality in 2.5D cutting utilizing titanium coated carbide ball end mill. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. Volume 13, Issue 12, 2012, Pages 2097-2102.
- [2] KOZIARSKA A., PARTYKA M.A., STANIK-BESLER A.: Wybrane zagadnienia minimalizacji wielowartościowych funkcji logicznych w strukturalizacji procesów decyzyjnych, Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, Opole 2005.
- [3] GAJEK M., KOZIARSKA A., KRÓLCZYK G., STANIK-BESLER A.: Ocena istotności parametrów toczenia stali duplex metodami drzewiastymi, Modelowanie i inżynieria produkcji w ekorozwoju, Studia i monografie z. 236, Politechnika Opolska, Opole 2008.

A. KOZIARSKA, G. KRÓLCZYK

Politechnika Opolska

## **RANGA WAŻNOŚCI PARAMETRÓW TOCZENIA STALI DUPLEX Z ZASTOSOWANIEM METOD STATYSTYCZNYCH**

W pracy przedstawiono zastosowanie metod statystycznych do oceny istotności wpływu technologicznych parametrów skrawania, dokładniej prędkości skrawania ( $v_c$ ), posuwu ( $f$ ) i głębokość skrawania ( $a_p$ ) na chropowatość powierzchni ( $Ra$ ) po toczeniu stali duplex. Zastosowano metody nieparametryczne, takie jak: test Kruskala-Wallisa i test Manna-Whitneya do danych, które nie pochodzą z populacji o rozkładzie normalnym. Założenia o normalności rozkładu i jednorodności wariancji sprawdzono testami Shapiro – Wilka, Bartletta oraz Fishera. Test t-Studenta oraz jednoczynnikową analizę wariancji zastosowano do danych, które spełniają założenia stosowalności tych metod. Wszystkie obliczenia wykonano w programie STATISTICA.

Wykorzystując do obliczeń statystycznych pełną gamę parametrów toczenia, na poziomie istotności 0,05, pokazano, że wszystkie parametry są tak samo ważne – żaden z nich nie wpływa istotnie na chropowatość powierzchni  $Ra$ .

Po ominięciu dwóch wartości odstających ranga ważności uległa zmianie. Najważniejszym parametrem okazała się głębokość skrawania  $a_p$ . Na poziomie istotności 0,05  $a_p$  istotnie wpływa na chropowatość powierzchni  $Ra$ . Co więcej, jeżeli głębokość skrawania  $a_p$  wynosi 1 mm średnia wartość  $Ra$  jest znacznie mniejsza niż w przypadku gdy głębokość skrawania  $a_p$  jest równa 2 mm. Pozostałe dwa parametry nie wpływają istotnie na wartość  $Ra$ . Przypisano to charakterowi zużycia ostrza skrawającego.

### **Literatura:**

1. KOZIARSKA A., KRÓLCZYK G.: *Surface roughness significance evaluation of duplex stainless steel after turning process*, Basic science applications in manufacturing processes. Studia i monografie z. 364 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-664056-37-6), ed. M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler, Opole: Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, 2013. – Chapter 10. Pp. 123-132, Opole 2013.
2. KOZIARSKA A., PARTYKA M., STANIK-BESLER A.: *Wybrane zagadnienia minimalizacji wielowartościowych funkcji logicznych w strukturalizacji procesów decyzyjnych*, (ISSN 1429-6063; ISBN 83-88492-76-4) Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, Opole 2005.
3. PEREIRA, A., MARTINEZ, J., PRADO, M. T., PEREZ, J. A., MATHIA, T., Topographic wear monitoring of the interface tool/workpiece in milling AISI H13 steel. *Advanced Materials Research*, 966-967 (2014), 152-167.



H. KVASNYTSIA<sup>1</sup>, O. OSTAPOV<sup>1</sup>, H. SHYNKARENKO<sup>1,2</sup>, O. VOVK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Narodowy Uniwersytet Lwowski imienia Iwana Franki (Ukraina),  
<sup>2</sup> Politechnika Opolska (Polska)

**DWUSTRONNE OBLICZANE APOSTERIORYCZNE  
 ESTYMATORY BŁĘDÓW I H-ADAPTYWNA METODA  
 ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH**

Aposterioryczne estymatory błędów Dirichleta i Neumanna są kluczowymi w niniejszej pracy: przy ich pomocy można obliczyć dolną i górną granicę wartości błędu aproksymacji metody elementów skończonych (MES) dla rozwiązania zagadnienia brzegowego z równaniem eliptycznym. Teoretyczne zasady takich oszacowań ustalono poprzez analizę rozwiązań zagadnień wariacyjnych dla resztki aproksymacji MES z jednorodnymi warunkami brzegowymi Dirichleta i Neumanna.

Aby uprościć rozważania rozpatrujemy 2D zagadnienie brzegowe z silnie zaburzonym nieliniowym równaniem dyfuzji- adwekcji-reakcji

$$-\nabla \cdot (\mu \nabla u) + \beta \cdot \nabla u + \sigma u = f[u] \quad w \quad \Omega, \quad u = 0 \quad na \quad \Gamma = \partial\Omega. \quad (1)$$

i jego dyskretyzacją z częściowo liniową lub częściowo kwadratową aproksymacją na trójkątnych siatkach elementów skończonych  $\mathfrak{T}_h = \{K\}$ ,  $\cup K = \Omega$ ,  $h_K := diam K$ ,  $h := \max_{K \in \mathfrak{T}_h} h_K$ .

Jeśli na przykład metodą elementów skończonych na siatce  $\mathfrak{T}_h$  obliczono częściowo liniową aproksymację rozwiązania  $u_h \in V_h^1 := \{v \in V = H_0^1(\Omega) : v|_K = a + bx + cy \quad \forall (x, y) \in K \quad \forall a, b, c \in R\}$  wtenczas aposterioryczny estymator błędów  $e_h \in E_h^1$ ,  $V := V_h^1 \oplus E_h^1$ ,  $\dim E_h^1 < +\infty$ , na każdym trójkącie oblicza się według wzoru [1], [2]:

$$e_h|_K \equiv e_K(x, y) = \frac{(f[u_h], \varphi)_K - a_K(u_h, \varphi)}{a_K(\varphi, \varphi)} \varphi(x, y) \quad \forall (x, y) \in K \quad \forall K \in \mathfrak{T}_h, \quad (2)$$

gdy

$$(u, v)_K := \int_K uv dx, \quad a_K(u, v) := (\mu \nabla u, \nabla v)_K + (\beta \cdot \nabla u + \sigma u, v)_K.$$

Funkcję kształtu  $\varphi = \varphi(x, y)$  we wzorze (2) wybiera się w postaci  $\varphi = \varphi_K^{Dir} = 27L_1L_2L_3$  dla obliczenia estymatora Dirichleta i w postaci  $\varphi := \varphi_K^{Neu} = 1 - L_1^2 - L_2^2 - L_3^2$  dla obliczenia estymatora Neumana, gdzie funkcje  $L_1, L_2, L_3$  tworzą układ współrzędnych barycentrycznych trójkąta  $K$ . Dla takich aposteriorycznych estymatorów błędów udowodniono, że  $a_K(e_K^{Dir}, e_K^{Dir}) \leq a_K(e_K^{Neu}, e_K^{Neu}) \quad \forall K \in \mathfrak{T}_h$ .

Na dodatek pewność oraz efektywność proponowanych estymatorów demonstruje się numerycznym rozwiązaniem silnie zaburzonych zagadnień dyfuzji-adwekcji-reakcji, a również elastostatyki na równomiernych i adaptowanych triangulacjach. Część numerycznych wyników uzupełniają własności  $h$ -adaptywnego schematu rozpatrzonego przez autorów w artykułach [1-4].

- [1] OSTAPOV O.Yu., SHYNKARENKO H.A., VOVK O.V. Finite element adaptive refinement techniques for diffusion-advection-reaction problems. Manufacturing Processes: Actual Problems-2013. Vol. 1. Basic science applications / M. Gajek, O. Hachkewych, A. Stanik-Besler (Eds.). Opole, Politechnika Opolska, 2013. – P. 31–46.
- [2] OSTAPOV O.Yu., SHYNKARENKO H.A., VOVK O.V. A posteriori error estimator and  $h$ -adaptive finite element method for diffusion-advection-reaction problems. Recent Advances in Computational Mechanics / T. Lodygowski, J. Rakowski, P. Litewka (Eds.). London, Taylor & Francis Group, 2014. – P. 329–337.
- [3] SHYNKARENKO H.A., VOVK O.V. A posteriori error estimations for finite element approximations on quadrilateral meshes. J. Numer. Appl. Math., N 3(113), 2013. – P. 107–118.
- [4] VOVK O., KVASNYTSIA G., OSTAPOV O., SHYNKARENKO H. A posteriori error estimators of quadratic serendipity finite element approximations for elliptic boundary value problems. Visnyk of Lviv University. Appl. Math. Comput. Science Series, 21 (2014) 67–78 (in Ukrainian).

R. DREBOTIY<sup>1</sup>, H. SHYNKARENKO<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Narodowy Uniwersytet Lwowski imienia Iwana Franki (Ukraina),  
<sup>2</sup> Politechnika Opolska (Polska)

## **HP-ADAPTYWNA METODA ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH DLA 1D ZAGADNIENIA BRZEGOWEGO DYFUZJI-KONWEKCJI- REAKCJI**

Przedmiotem rozważań jest konstruowanie *hp*-adaptywnej metody elementów skończonych (MES) dla zagadnień liniowych z równaniem dyfuzji-konwekcji-reakcji o warunkach brzegowych ogólnej postaci:

$$\begin{cases} -(\mu u')' + \beta u' + \sigma u = f & \text{in } \Omega = (0, L), \\ (\mu u')|_{x=0} = \alpha [u(0) - \bar{u}_0], \quad -(\mu u')|_{x=L} = \gamma [u(L) - \bar{u}_L]. \end{cases}$$

Ustalono warunki dostateczne poprawnego postawienia odpowiedniego zagadnienia wariacyjnego oraz zależność stabilności jego rozwiązania od kryterium Pecleta i Strouhala.

Dla oszacowania jakości rozwiązań numerycznych zagadnienia wariacyjnego określono jawny i niejawny aposterioryczne estymatory błędów aproksymacji metody elementów skończonych postaci wielomianowej stopnia dowolnego.

Zdefiniowano strategię adaptowania schematu numerycznego, który posługuje się jawnym estymatorom dla wyróżnienia elementów skończonych o największym poziomie błędów, a zatem estymatorom niejawnym dla podejmowania decyzji odnośnie podziału albo zwiększenia stopnia funkcji kształtu na każdym z nich. Na tej podstawie podano algorytm obliczania aproksymacji MES, który w sposób optymalny wybiera podział elementu skończonego na dwa podobne lub powiększenie stopnia aproksymacji na jedynekę, dopóki ciąg takich kroków nie zabezpieczy dokładności przybliżenia ustalonego poziomu.

Pewność oraz efektywność podanej technologii *hp*-adaptywnego schematu MES zilustrowano analizą wyników rozwiązań numerycznych dla zagadnień brzegowych, w tym silnie zaburzonych i porównaniem z metodą reference solutions.

R. MALETS<sup>1</sup>, H. SHYNKARENKO<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Narodowy Uniwersytet Lwowski imienia Iwana Franki (Ukraina),  
<sup>2</sup> Politechnika Opolska (Polska)

**KONSTRUOWANIE MODELI POWŁOK  
TERMOSPŁYNYCH ORAZ ANALIZA POPRAWNOŚCI  
ZAGADNIENIA WARIACYJNEGO DLA TYCH MODELI**

Na podstawie dynamicznego zagadnienia wariacyjnego ciała termosprężystego małej grubości skonstruowano odpowiednie zagadnienie termosprężystości cienkich powłok. Ten model rozbudowano po założeniu liniowego zachowania przemieszczeń oraz temperatury odnośnie współrzędnej grubościowej i częściowego całkowania wariacyjnych równań trójwymiarowych według wspomnianej współrzędnej.

Analiza poprawności wariacyjnego zagadnienia dynamiki cienkich powłok dokonana z wykorzystaniem równania bilansu energii wzajemnie powiązanych pól: mechanicznego i cieplnego.

Ustalono warunki dostatecznej regularności danych występujących w zagadnieniu, które gwarantują ograniczoność energii całkowitej powłoki termosprężystej i jednoznaczność jego rozwiązania. Następnie za pomocą pól dyskretyzacji Galerkinia względem zmiennych powierzchni środkowej zdefiniowano warunki dostateczne gwarantujące istnienie jednoznacznego rozwiązania stabilnego skonstruowanego zagadnienia wariacyjnego powłok termosprężystych.

A. METELSKI

Politechnika Opolska

**IDENTYFIKACJA SKŁADNIKA ŹRÓDŁOWEGO  
W RÓWNANIU PRZEWODNICTWA CIEPLNEGO**

Badania związane są z identyfikacją nieznanego składnika źródłowego, będącego w założeniu funkcją współrzędnych kartezjańskich. Rozważono następujące zagadnienie początkowo - brzegowe dla kawałkami jednorodnego, dwuwymiarowego obszaru:

$$\left\{ \begin{array}{l} (x, y) \in \Omega_i : \quad c_i \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial t} = \lambda_i \nabla^2 T(x, y, t) + Q_i \\ (x, y) \in \Gamma_1 : \quad -\lambda_i \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial n} = q_b \\ (x, y) \in \Gamma_2 : \quad -\lambda_2 \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial n} = \alpha (T(x, y, t) - T^\infty) \\ (x, y) \in \Gamma_3 : \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1(x, y, t)}{\partial n} = \frac{T_1 - T_2}{R} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2(x, y, t)}{\partial n} \\ t = 0 : \quad T(x, y, t) = T_0(x, y) \end{array} \right. ,$$

gdzie  $i = 1, 2$ ,  $c_i$  [J/m<sup>3</sup>K],  $\lambda_i$  [W/mK] oznaczają objętościowe ciepło właściwe i współczynnik przewodzenia ciepła,  $Q_i$  wydajność objętościowych źródeł ciepła,  $t, x, y$  – czas i współrzędne kartezjańskie,  $q_b$  - strumień ciepła na brzegu  $\Gamma_1$ ,  $\partial/\partial n$  jest pochodną normalną do brzegu,  $\alpha$  [W/m<sup>2</sup>K],  $T^\infty$  to współczynnik wymiany ciepła i temperatura otoczenia,  $T_0$  - początkowa temperatura,  $R$  jest oporem cieplnym na styku podobszarów.

Znane są również 'pomiarzy' temperatury dla  $M$  punktów kontrolnych

$$T(x^i, y^i, t^f) = T_{di}^f ,$$

gdzie  $i = 1, 2, \dots, M$ ,  $f = 1, 2, \dots, F$ .

Problem polega na wyznaczeniu nieznanych współczynników występujących w funkcji źródła, która jest z założenia postaci

$$Q_1 = p_6x^2 + p_5y^2 + p_4xy + p_3x + p_2y + p_1,$$

gdzie  $p_i \in R$  dla  $i = 1, \dots, 6$ .

Przedstawiony w pracy algorytm bazuje na analizie współczynników wrażliwości. Proponowana metoda została zastosowana do rozwiązania przykładu numerycznego, w którym rozważono dwuwymiarowy obszar kawałkami jednorodny. Punkty pomiarowe zostały zlokalizowane w podobzdarze bezźródłowym, zaś rozwiązanie numeryczne, zostało oparte na metodzie elementów skończonych (MES) z wykorzystaniem izoparametrycznych liniowych elementów skończonych.

Z. ŚLÓDERBACH

Politechnika Opolska

## KINEMATYCZNE I STATYCZNE POLA PLASTYCZNOŚCI W KSZTAŁTOWANIU MATERIAŁÓW PRZEZ DWA STEMPLE

### Część. I. Wyprowadzenie podstawowych równań i zależności

Idee metod oszacowania wielkości dopuszczalnego nacisku (obciążenia) podczas przecinania wywodzą się z ogólnych twierdzeń teorii plastyczności, jak twierdzenia o nośności granicznej (oszacowania górne i dolne) lub zasad ekstremalnych, por. [1-3]. Przekroczenie wartości określanego nacisku będzie powodować, że np. plastyczne materiały metaliczne będą ulegać przewężeniu i następnie przecięciu (ścięciu) wzdłuż płaszczyzn ścinania. Za pomocą metod kinematycznie i statycznie dopuszczalnych pól oszacowano rezultaty obliczeń, które otrzymano z rozwiązań numerycznych opartych na rozwiązaniach równań różniczkowych cząstkowych metodą charakterystyk.

Metody szacowania dopuszczalnego nacisku (obciążenia) mają duże zastosowania w analizie wielu rodzajów obróbki plastycznej metali oraz w nośności granicznej materiałów kruchych i sypkich. Rozpatrzono przykłady zastosowania tych metod. W tym celu żyto warunku plastyczności Hubera–Misesa-Hencky’ego (H-M-H) dla materiałów metalicznych będącym w stanie na gorąco. W analizowanym przypadku zakłada się, że proces ściskania, przewężania i przecinania bloków materiału przez dwa przeciwbieżne płaskie stemple przebiegają w warunkach płaskiego stanu odkształcenia (PSO).

Rozwiązywanie numeryczne zadań metodą charakterystyk polega na wyznaczaniu odpowiednich siatek linii poślizgu, które pokrywają się z liniami charakterystyk równań różniczkowych cząstkowych typu hiperbolicznego. Metody analityczne wymagają konstruowania odpowiednich schematów kinematycznie dopuszczalnych pól prędkości odkształceń i budowy hodografu prędkości oraz także statycznie dopuszczalnych pól naprężeń. Wielkość poszukiwanego nacisku  $p$  lub co jest równoważne obciążenia  $F$  otrzymuje się dla pól kinematycznych (oszacowania górne) z warunku bilansu mocy dysypowanej a dla statycznych (oszacowania dolne) z warunków równowagi. Przyjmuje się, że naprężenia ściskające są dodatnie oraz materiały są nieważkie.

- [1] HILL R., Mathematical Theory of plasticity, Oxford,, London, 1986.
- [2] OLSZAK W., PERZYNA P., SAWCZUK A., Teoria plastyczności, PWN, Warszawa, 1985.
- [3] SZCZEPIŃSKI W., Wstęp do analizy procesów obróbki plastycznej, PWN, Warszawa, 1967.



Z. ŚLÓDERBACH

Politechnika Opolska

**KINEMATYCZNE I STATYCZNE POLA PLASTYCZNOŚCI  
W KSZTAŁTOWANIU MATERIAŁÓW PRZEZ DWA STEMPLE  
Część. II. Omówienie i analiza otrzymanych rezultatów**

Jak już wspomniano w części I metody szacowania dopuszczalnego nacisku (obciążenia) mają duże zastosowania w analizie wielu rodzajów obróbki plastycznej materiałów metalicznych, materiałów kruchych, półkruchych i sypkich oraz w nośności granicznej konstrukcji wykonanych z tych materiałów. W pracy rozpatrzono przykład zastosowania tych metod do analizy procesu przewężania i przecinania bloków materiałów metalicznych przez dwa przeciwbieżne płaskie i sztywne stemple. W tym celu wykorzystano warunek plastyczności Hubera–Misesa–Hencky’ego (H-M-H) dla materiałów metalicznych będącym w stanie na gorąco (nie uwzględnia się zjawiska umocnienia materiału). W analizowanym przypadku zakłada się, że proces plastycznego przecinania i przewężania przebiega w warunkach płaskiego stanu odkształcenia (PSO).

Jak wynika z doświadczeń nad materiałami metalicznymi, odkształcenie plastyczne wywołane obciążeniami zewnętrznymi zachodzą nie w całej objętości materiału, lecz wzdłuż pewnych cienkich warstw skierowanych na ogół zgodnie z płaszczyznami o najgęstszym upakowaniu atomów. Płaszczyzny wzdłuż których następuje przesunięcie poszczególnych części materiału nazywamy płaszczyznami poślizgu a ich rzuty na płaszczyznę prostopadłą odpowiednimi liniami poślizgu.

Rozwiązywanie numeryczne zagadnienia metodą charakterystyk polega więc na wyznaczeniu odpowiednich siatek linii poślizgu, które pokrywają się z odpowiednimi liniami charakterystyk równań różniczkowych cząstkowych typu hiperbolicznego. Metody analityczne natomiast wymagają konstruowania odpowiednich schematów kinematycznie dopuszczalnych pól prędkości odkształceń i budowy hodografu prędkości oraz także statycznie dopuszczalnych pól naprężeń, por. część I. Wielkość poszukiwanego nacisku  $p$  lub co jest równoważne obciążenia  $F$  otrzymuje się dla pól kinematycznych (oszacowania górne) z warunku bilansu mocy dysypowanej a dla statycznych (oszacowania dolne) z warunków równowagi. Przyjmuje się, że naprężenia ściskające są dodatnie oraz materiały są nieważkie. Rozważane są przypadki dwóch kolejnych faz odkształcania naciętej kwadratowej siatki w procesie przecinania dwoma stemplami.



## **II. MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA PROCESÓW WYTWÓRCZYCH**





S. BUDZ<sup>1</sup>, K. GHAZARYAN<sup>2</sup>, M. HACHKEVYCH<sup>1</sup>,  
O. HACHKEVYCH<sup>1,3</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Institute of Mechanics ANA (Armenia)

<sup>3</sup> Opole University of Technology (Poland)

## **METODA OPTIMALIZACJI WZGLĘDEM STANU NAPRĘŻEŃ PRZEBIEGÓW NAGRZEWANIA KAWAŁKAMI JEDNORODNYCH SZKLANYCH POWŁOK W PROCESACH WYTWÓRCZYCH**

W pracy rozwija się metodologia optymalizacji względem stanu naprężeń przebiegów nagrzewania technologicznego jednorodnych szklanych powłok na przypadek kawałkami jednorodnych. Sformułowano odpowiednie zagadnienie optymalizacji takiego przebiegu (zmiany w czasie i względem współrzędnych temperatury środowiska zewnętrznego, które występuje grzejącym czynnikiem i funkcją sterowania przy warunku wymiany ciepła przez konwekcję z kawałkami jednorodną powłoką na powierzchniach  $\gamma = \pm h$ ) przy zadanych obszarach dopuszczalnej zmiany wartości temperatury, i pewnych parametrów natury technologicznej przy kryterium optymalności – minimum wartości funkcjonału maksymalnych naprężeń.

Opracowana jest metodyka i odpowiedni algorytm rozwiązywania takiego zagadnienia, przy czym przy poszukiwaniu warunkowego ekstrema funkcjonału wykorzystano numeryczną metodę lokalnych wariacji funkcji sterowania przy znanym rozwiązaniu zagadnienia prostego, które opisuje stan termosprężysty rozważanej kawałkami jednorodnej powłoki. Przy tym obliczane są wartości kryterium optymalności i wybierane są wielkości, które odpowiadają najmniejszej z wartości kryterium. Zagadnienie proste o wyznaczeniu temperaturowych i mechanicznych pól przy zadanych cieplnych i mechanicznych warunkach początkowych i brzegowych, formułowane jest w ujęciu quasi-statycznym przy założeniu o prawie rozkładu temperatury względem grubości składowych części powłoki odpowiadającemu wielomianu trzeciego stopnia, a naprężeń oraz deformacji – opisywanemu na powstanie teorii termomechaniki cienkich powłok przy zależnym od temperatury współczynnikiem rozszerzalności cieplnej materiału.

Zaproponowano pewny algorytm pobudowy początkowego przybliżenia funkcji sterowania, w którym wyjściowym jest optymalny reżym nagrzewania dla jednorodnej powłoki sferycznej, wyznaczony przy spełnieniu głównej części ograniczeń, występujących w zagadnieniu dla powłoki kawałkami jednorodnej.

M. HACHKEVYCH<sup>1</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, E. IRZA<sup>1</sup>, A. KOZIARSKA<sup>2</sup>,  
V. MAJAROVSKII<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>3</sup> Gomel State University (Belarus)

## **FORMUŁOWANIE ZAGADNIENIA PROSTEGO PRZY OPTYMALIZACJI PRZEBIEGÓW NAGRZEWANIA TECHNOLOGICZNEGO SZKLANYCH KAWAŁKAMI JEDNORODNYCH POWŁOK**

Sformułowano zagadnienie proste mechaniki odkształcalnego ciała stałego opisujące procesy cieplne oraz mechaniczne w kawałkami jednorodnych powłokach przy optymalizacji przebiegów nagrzewania przy zadanych sposobach nagrzewania, początkowych i brzegowych warunkach cieplnych i mechanicznych. Dla stosowanych w praktyce inżynierskiej typach szkielew w kawałkami jednorodnych powłokach, przez prawie wszystkich realnych grubościach tych powłok, wyjściowe zagadnienie przewodnictwa cieplnego można rozważać jako odpowiednie dwuwymiarowe (z dokładnością przyjętą w teorii powłok) przy wykorzystaniu podania rozkładu temperatury względem współrzędnej grubościowej za pomocą wielomianu trzeciego stopnia. Przy tym istotnie upraszcza się rozwiązanie wyjściowego zagadnienia quasi-statycznej termosprężystości dla cienkich powłok przy zależnym od temperatury współczynnikiem rozszerzalności cieplnej materiału, w którym występują tylko uśrednione względem grubości charakterystyki temperatury.

Omówione podejście jest efektywne dla stosowania w algorytmach optymalizacji numerycznej względem różnych celowych kryteriów (w szczególności, poziomu szczytkowych naprężeń) przebiegów nagrzewania technologicznego przy pomocy temperatury środowiska zewnętrznego oraz źródeł ciepła cienkich kawałkami jednorodnych szklanych powłok przy ograniczeniach o różnej naturze, gdzie koniecznym jest wielokrotne rozwiązanie zagadnień prostych. Tutaj zmniejszenie rezerwu komputerowego i złożoności matematycznych osiąga się otrzymaniem rozwiązań analitycznych na odrębnych etapach przy względnej niezłożoności ich przedstawień i dostatecznej dokładności.

Ustalono, że dla wykorzystywanych w praktyce inżynierskiej szklanych kawałkami jednorodnych powłok, które pracują przy podwyższonych temperaturach, zaburzeniami temperatury w otoczeniu przekrojów sprężenia można pominąć (z dokładnością przyjętą w teorii powłok). Przy tym zagadnienie przewodnictwa cieplnego (przy jednorodnej temperaturze

środowiska zewnętrznego lub zewnętrznej powierzchni powłoki) może być rozważane jako jednowymiarowe względem współrzędnej grubościowej. Przy takich założeniach znacznie upraszcza się procedura rozwiązania zagadnienia termosprężystości w algorytmach numerycznej optymalizacji przebiegów celowego nagrzewania cienkich kawałkami jednorodnych szklanych powłok oraz zmniejsza się czas obliczenia parametrów takich przebiegów.

*Badania niniejsze zostały częściowo sfinansowane w ramach projektu – ДРФФДУ i РФФДУ Ф54.2/015.*

S. BUDZ<sup>1</sup>, M. HACHKEVYCH<sup>1</sup>, A. KOZIARSKA<sup>2</sup>,  
A. STANIK-BESLER<sup>2</sup>, B. TRISZCZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>3</sup> Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)

## **PROSTE OSIOWOSYMETRYCZNE ZAGADNIENIE TERMOMECHANIKI DLA KAWAŁKAMI JEDNORODNYCH SZKLANYCH POWŁOK W ZAGADNIENIACH OPTIMALIZACJI PRZEBIEGÓW NAGRZEWANIA**

Wyjściowe proste zagadnienie mechaniki odkształcalnego ciała stałego, opisujące procesy cieplne i mechaniczne w kawałkami jednorodnych szklanych powłokach przy optymalizacji przebiegów wykorzystywanego w procesach wytwórczych nagrzewania technologicznego, sformułowane jest dla przypadku gdy istniejące oddziaływania oraz warunki wymiany ciepła i zamocowania nie zależą od jednej ze zmiennych przestrzennych. W danej pracy z uwzględnieniem tego (i jako wynik – niezależności od jednej ze zmiennych przestrzennych parametrów stanu termosprężystego) rozwija się schemat obliczeniowy zagadnienia prostego (jako odpowiedniej składowej części zagadnienia optymalizacji względem stanu sprężystego przebiegów nagrzewania technologicznego).

Zagadnienie zgodnie z zaproponowanym schematem obliczeniowym sprowadza się do wyznaczania pola temperatur z odpowiedniego podzagadnienia przewodnictwa cieplnego dla osiowosymetrycznej kawałkami jednorodnej szklanej powłoki oraz kolejnego poszukiwania parametrów sprężysto-odkształcalnego stanu takiej powłoki na podstawie zależności termosprężystości cienkich powłok przy termoczółym współczynniku rozszerzalności cieplnej materiału. Przy tym oprócz przedstawienia rozkładu temperatury względem grubościowej współrzędnej wielomianem trzeciego stopnia wykorzystuje się metodę siatek i najmniejszych kwadratów przy kawałkami – elementowej aproksymacji uśrednionych temperatury i momentu temperaturowego względem zmiennych pozostałych. Zależności termomechaniki powłok sprowadzono do znanych równań kluczowych, przedstawienia rozwiązań których otrzymane są w postaci analitycznej.

Zależności wyjściowe zostały podane dla składowych rozważanych kawałkami jednorodnych powłok, za które przyjęto kanoniczne typy powłok jednorodnych - cylindryczną, sferyczną oraz koniczną.



B. CHORNYI<sup>1</sup>, M. HACHKEVYCH<sup>2</sup>, L. HAYEVŚKA<sup>2</sup>, E. IRZA<sup>2</sup>,  
A. KOZIARSKA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Lviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport  
<sup>2</sup>Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>3</sup>Opole University of Technology (Poland)

## **POCZĄTKOWE PRZYBLIŻENIE FUNKCJI STEROWANIA PRZY OPTYMALIZACJI PRZEBIEGÓW NAGRZEWANIA TECHNOLOGICZNEGO KAWAŁKAMI JEDNORODNYCH SZKLANYCH POWŁOK**

Opracowany został algorytm optymalizacji względem stanu naprężeń przebiegów nagrzewania szklanych kawałkami jednorodnych cienkich powłok, który oparty jest na metodzie lokalnych wariacji w przestrzeni stanów funkcji sterowania. W metodzie tej jest istotnym wyjściowe (początkowe) przybliżenie funkcji sterowania, które wyznacza praktycznie ilość przybliżeń, konieczną dla osiągnięcia zadanej dokładności obliczeń funkcji sterowania. W pracy zaproponowano metodykę rozbudowy początkowego przybliżenia funkcji sterowania na podstawie optymalnego przebiegu nagrzewania dla jednorodnej sferycznej powłoki przy spełnieniu większości warunków występujących przy optymalizacji przebiegów nagrzewania rozważanych kawałkami jednorodnych powłok, a kryterium optymalności jest funkcjonal energii sprężystej deformacji za czas nagrzewania.

Rozwiązanie takiego zagadnienia optymalizacji przy kryterium optymalności – minimum funkcjonalu energii sprężystych odkształceń powłoki, sprowadzono jest do zagadnienia bezwarunkowego ekstremum odpowiedniego funkcjonalu, otrzymanego z wyjściowego przy wykorzystaniu czynników Lagrange'a. Przy tym ograniczenia wyrażone są przez funkcje z ograniczonym obszarem zmiany wartości.

Na podstawie takiej wyjściowej funkcji sterowania z wykorzystaniem iteracyjnej metody lokalnych wariacji zaproponowany został algorytm rozbudowy początkowego przybliżenia funkcji sterowania dla rozważanych kawałkami jednorodnych powłok, przy którym otrzymuje się istotne zmniejszenie ilości iteracji, konieczne dla wyznaczania funkcji sterowania w wyjściowym zagadnieniu optymalizacji, przy osiągnięciu zadanej dokładności.

*Badania niniejsze zostały częściowo sfinansowane w ramach projektu – ДРФФДУ і РФФДУ Ф54.2/015.*

B. BOZHENKO<sup>1,2</sup>, B. DROBENKO<sup>1</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>,  
T. KOZAKEVYCH<sup>1</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

**METODYKA NUMERYCZNEGO ROZWIĄZYWANIA ZAGADNIENIA  
WYZNACZANIA I OPTIMALIZACJI SZCZĄTKOWEGO STANU  
FAZOWEGO ORAZ SPRĘŻYSTEGO STALOWEJ TARCZY PRZY  
NAGRZEWANIU PRZEZ RUCHOME ŹRÓDŁA CIEPŁA**

Zaproponowano, opartą na metodzie reszt ważonych w połączeniu z metodą elementów skończonych w wariacie metody Galerkinia przy izoparametrycznych elementach skończonych, metodykę rozwiązywania numerycznego następujących składowych podzagadnień istniejących etapów zaproponowanego schematu obliczeniowego postawionego wyjściowego kompleksowego zagadnienia mechaniki o wyznaczeniu i optymalizacji stanu fazowego oraz sprężystego małowęglowej niskostopowej cienkiej tarczy z uwzględnieniem przekształceń strukturalnych:

- znajdowanie pola temperatur oraz odpowiedniego czasu obecności rozważanych punktów tarczy w przedziale temperatur polimorficznych przekształceń przy monotonicznym chłodzeniu;
- ustalenie odsetkowej ilości szczątkowych składowych fazowych na podstawie znanych analitycznych zależności, które otrzymane są z wykorzystaniem metod statystyki matematycznej przy opracowaniu termokinetycznych diagramów zmian fazowych przy rozpadzie austenitu w stali danego typu przy monotonicznym chłodzeniu;
- wyznaczenie naprężeń szczątkowych na podstawie zagadnienia, sformułowanego względem przemieszczeń, z wykorzystaniem metody umownych deformacji przy uwzględnieniu obliczonych szczątkowych odkształceń, spowodowanych różną odsetkową ilością obecnych przy przekształceniach strukturalnych składowych fazowych (przy innej dla każdej z nich wartości objętości właściwej);
- obliczenie (z wykorzystaniem zaproponowanego algorytmu parametrycznej optymalizacji) charakterystyk ruchomych źródeł ciepła (ilości i mocy źródeł oraz rozmieszczenia ich środków lokalizacji) względem kryterium minimum maksymalnej zawartości martenzytu, przy którym osiągane są najmniejsze poziomy naprężeń szczątkowych.

Opracowane zostało oprogramowanie dla obliczania rozkładów składowych fazowych (martenzytu, bainitu i ferryto-perlitu) oraz spowodowanych nimi naprężeń szczątkowych w cienkiej stalowej tarczy przy oddziaływaniu rozważanych ruchomych źródeł ciepła (przy konkretnych ich parametrach) oraz różnych wartościach początkowej temperatury.

V. ASTASHKIN<sup>1</sup>, M. GAJEK<sup>2</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>,  
T. KOZAKEVYCH<sup>1</sup>, J. SZYMCZAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

## **OPTYMALIZACJA STANU SZCZĄTKOWEGO I SPRĘŻYSTEGO TARCZY STALOWEJ PRZY NAGRZEWANIU PRZEZ RUCHOME ROZŁOŻONE ŹRÓDŁA CIEPŁA ORAZ STACJONARNE LOKALNE POLE TEMPERATUR**

Rozwinięto model matematyczny opisu ilościowego procesu powstania szczątkowego stanu fazowego oraz stanu naprężeń cienkiej stalowej małowęglowej niskostopowej tarczy przy nagrzewaniu przez ruchome normalnie rozłożone źródła ciepła na przypadek nagrzewania przez ruchome rozłożone źródła ciepła oraz stacjonarne lokalne pole temperatur, które zmienia się według prawa normalnego rozkładu (podgrzewanie towarzyszące).

Na tej podstawie, wychodząc ze sformułowanych zagadnień termomechaniki ciał stałych przy uwzględnieniu przekształceń fazowych i obecności temperaturowego pola podgrzewania, parametrycznie optymalizowano przy takim nagrzewaniu fazowe rozkłady i poziom szczątkowych naprężeń w rozważanej tarczy względem kryterium, określającym minimalne poziomy martenzytycznej składowej (dla zwiększenia plastycznych właściwości obszaru o maksymalnej temperaturze nagrzewania).

Zbadano zależność maksymalnego udziału martenzytowej składowej oraz intensywności naprężeń szczątkowych od parametrów temperaturowego pola podgrzewania.

Z otrzymanych wyników numerycznej analizy wyływa, że przy obecności dodatkowego źródła podgrzewania – lokalnego stacjonarnego pola temperatur możliwe zmniejszenie wartości martenzytowej składowej i poziomu szczątkowych naprężeń strukturalnych (do 30% w rozważanym przypadku) w porównaniu z nagrzewaniem tylko przez ruchome, normalnie rozłożone źródło ciepła o jednym środku lokalizacji.

V. ASTASHKIN<sup>1</sup>, M. GAJEK<sup>2</sup>, T. KOZAKEVYCH<sup>1</sup>,  
A. RAWSKA-SKOTNICZNY<sup>2</sup>, I. CHUPYK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

**BADANIE I OPTYMALIZACJA WPLYWU WYBRANYCH  
TERMICZNYCH I TECHNOLOGICZNYCH PARAMETRÓW  
PROCESU NAGRZEWANIA NA SZCZĄTKOWY STAN FAZOWY I  
SPRĘŻYSTY MIAŁOWĘGŁOWYCH NISKOSTOPOWYCH  
STALOWYCH TARCZ**

Zbadany wpływ stałej początkowej temperatury tarczy (ogólnego jednorodnego początkowego podgrzewania) oraz wartości parametru rozproszenia w ruchomym rozłożonym źródle ciepła, który charakteryzuje rozkład energii cieplnej w nim, na maksymalną zawartość martenzytu, naprężenia szczątkowe i wymiary obszaru termicznego wpływu przy nagrzewaniu technologicznym małowęgłowych niskostopowych cienkich tarcz przez ruchome rozłożone źródło ciepła. W celu tym wykorzystuje się opracowany model określenia szczątkowego fazowego i sprężystego stanu małowęgłowych niskostopowych tarcz przy nagrzewaniu układem ruchomych rozłożonych źródeł ciepła (o różnym rozmieszczeniu środków lokalizacji tych źródeł) przy zadanych początkowych, brzegowych oraz wybranych technologicznych warunkach, w której decydującymi czynnikami są czas obecności rozważanych punktów tarczy w przedziale temperatur przekształceń polimorficznych przy chłodzeniu monotonicznych oraz skład chemiczny stali.

Wykonana numeryczna analiza rozwiązań odpowiednich zagadnień schematu obliczeniowego wykazała, że wartość początkowej stałej temperatury tarczy (poprzedniego jednorodnego podgrzewania) oraz parametru rozproszenia w źródle, charakteryzującego rozkład energii cieplnej w nim, istotnie wpływa na maksymalną wartość martenzytycznej składowej i intensywności naprężeń szczątkowych (w rozważanym przypadku na 10-30%) w porównaniu z nagrzewaniem tylko jednym normalnie rozłożonym źródłem ciepła.

Od wartości parametru rozproszenia energii cieplnej w źródle ciepła zależy końcowy rozkład szczątkowych naprężeń w tarczy. Przy jego wzroście przy podtrzymaniu maksymalnej stałej temperatury w obszarze termicznego wpływu konieczne jest zwiększenie mocy źródła. Jednakże wartości parametrów, określające omówione dodatkowe termiczne lub technologiczne warunki, wpływają na szczątkowy i fazowy skład oraz poziom naprężeń mniej istotnie niż wartości parametrów dodatkowych ruchomych rozłożonych źródeł ciepła o różnych środkach lokalizacji.

O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, R. KUSHNIR<sup>1</sup>, Y. NIEMIROVSKII<sup>3</sup>,  
R. TERLETSKII<sup>1</sup>, O. TURII<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>3</sup> Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics Siberian Branch  
of Russian Academy of Sciences

### **MODELE RADIACYJNEJ TERMOMECHANIKI OPROMIENIOWYWANYCH PŁASKO-WARSTWOWYCH CIAŁ, WYKORYSTYWANE PRY ROZWIĄZYWANIU WYBRANYCH ZAGADNIĘĆ PROCESÓW WYTWÓRCZYCH**

W literaturze obecny jest szereg prac poświęconych badaniu prawidłowości termomechanicznego zachowania warstwowych ciał w warunkach intensywnych cieplnych obciążeń, które mogą być spowodowane promieniowaniem cieplnym lub wysokotemperaturowym nagrzewaniem. Opis takiego zachowania wymaga adekwatnego modelowania procesów przeniesienia promieniowania cieplnego (zewnętrznego również jak i własnego, spowodowanego promieniowaniem cieplnym podgrzewanych składników). Przebieg procesów tych istotnie zależy od struktury ciała warstwowego (ilości, rozmieszczenia warstw i ich grubości) oraz radiacyjnych właściwości składników (pochłaniających, odbijających oraz emisyjnych). W moc tego przy badaniach termosprężystego stanu ciał warstwowych konieczne jest uwzględnienie w zagadnieniach termomechaniki (w szczególności przy formułowaniu odpowiednich równań, warunków brzegowych oraz warunków sprzężenia (kontaktu)) efektów, powiązanych z pochłanianiem i wypromieniowaniem energii cieplnej przez składowe warstwy.

Osobliwością omawianych zagadnień termomechaniki jest połączenie procesów mechanicznych oraz procesów przeniesienia promieniowania i ciepła, które opisywane są z wykorzystaniem modelowych przedstawień fenomenologicznej teorii promieniowania i termomechaniki kontinuum, a mianowicie takich kierunków: teoria przeniesienia promieniowania, mechanika pól połączonych i kontaktowa termomechanika.

Omówione wyżej postawienia zagadnień termomechaniki napromieniowywanych ciał pozwalają na poszerzenie koła problemów, które są badane przez termomechanikę lub teorię naprężeń cieplnych, w nowym kierunku – radiacyjna termomechanika. Z innej strony one przyczyniają więc adekwatne formułowanie sprzężonych (kontaktowych) zagadnień termomechaniki dla ciał warstwowych w warunkach napromieniowania lub oddziaływania wysokich temperatur.

W pracy na podstawie rozważnego wyżej podejścia przeanalizowano stan badań w dziedzinie radiacyjnej termomechaniki ciał warstwowych ze składnikami o różnej przezroczystości względem promieniowania cieplnego, które dotyczą rozwiązania zagadnień powiązanych z opracowaniem procesów wytwórczych. Określono kierunki i perspektywy badań w tej dziedzinie.

*Badania niniejsze zostały częściowo sfinansowane w ramach projektu ВБ-РФФДУ/405.*

M. GAJEK<sup>1</sup>, Y. NIEMIROVSKI<sup>2</sup>, J. SZYMCZAK<sup>1</sup>, R. TERLETSKI<sup>3</sup>,  
O. TURII<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Opole University of Technology (Poland)

<sup>2</sup>Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics Siberian Branch  
of Russian Academy of Sciences

<sup>3</sup>Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

### **MODELOWANIE TERMOMECHANICZNEGO ZACHOWANIA TARCZ WARSTWOWYCH, SKŁADAJĄCYCH SIĘ Z WARSTW O RÓŻNEJ PRZEZROCZYSTOŚCI, PRZY TECHNOLOGICZNYM OPROMIENIOWANIU CIEPLNYM**

W kosmicznej, lotniczej, elektro- i radiotechnicznej oraz innych dziedzinach przemysłu często korzystają z warstwowych elementów konstrukcji i urządzeń. Sposoby ich obróbki termicznej oraz warunki eksploatacji przy intensywnych obciążeniach cieplnych, przeznaczenie funkcjonalne wymuszają konieczność zbadania fizyczno-mechanicznych zjawisk, powiązanych z oddziaływaniem promieniowania cieplnego na ciała warstwowe, składowe warstwy których mogą być o różnych właściwościach radiacyjnych. Oddziaływanie takiego promieniowania powoduje powstanie procesów przeniesienia ciepła w napromieniowywanych ciałach oraz ma wpływ na ich mechaniczne zachowanie.

Uwzględnienie realnej struktury napromieniowywanych elementów warstwowych (obecność podstawowych i przejściowych warstw różnej przezroczystości), rzeczywistych parametrów (energetycznych oraz radiacyjnych (w szczególności, widmowych)) zewnętrznych źródeł promieniowania cieplnego i ich rozmieszczenia względem badanego ciała, warunków wymiany ciepła z otoczeniem, które odpowiadają warunkom eksploatacji lub obróbki, prowadzą do potrzeby uściślenia we wspomnianym kierunku formułowania zagadnień, opisujących przeniesienie promieniowania i ciepła.

W pracy omówione problemy rozważane są dla trzech warstwowej tarczy, napromieniowywania nagrzana do pewnej temperatury powierzchni, równoległą do warstwy. Zapisane są wyjściowe zależności określające pole promieniowania w takiej tarczy. Dla wszystkich możliwych przypadków rozmieszczenia warstw i powierzchni nagzewającej sformułowane odpowiednie zagadnienia przeniesienia ciepła (z uwzględnieniem wpływu promieniowania w częściowo przezroczystych obszarach, na powierzchniach brzegowych i rozgraniczających środowiska. Warunki brzegowe ciepłe na powierzchniach tarczy oraz sprzężenia (kontaktu) na powierzchniach rozgraniczających warstwy (przy warunku równości temperatur – warunki idealnego kontaktu cieplnego)

otrzymano z warunku bilansu wszystkich strumieni, dochodzących do rozważanych powierzchni (w szczególności spowodowanych adsorpcją i emisją energii cieplnej przez warstwę nieprzezroczyste). Sformułowane kontaktowo-brzegowe zagadnienia o wyznaczaniu temperatury w tarczy przy obecności warstwy nieprzezroczystej są nieliniowe. Odpowiednie kontaktowe (sprężenia cieplnego) warunki na powierzchni warstwy nieprzezroczystej przy uwzględnieniu efektów wypromieniowania są nieliniowymi warunkami idealnego sprężenia cieplnego.

Przy badaniach stanu naprężeń w rozważanych napromieniowywanych tarczach wykorzystane są wyrażenia, określające składowe tensora naprężeń przy różnych warunkach zamocowania krańców.

*Badania niniejsze zostały częściowo sfinansowane w ramach projektu ВБ-РФФДУ/405.*



V. BOYCHUK<sup>1,2</sup>, O. HUMENCHUK<sup>2</sup>, A. MARYNOVICH<sup>1</sup>,  
R. TERLETSKII<sup>2</sup>, O. TURII<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>2</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

**MODELOWANIE PROCESU PRZENIESIENIA CIEPŁA I STANU  
NAPRĘŻEŃ W WARSTWOWYCH TARCZACH PRZY OBECNOŚCI  
CIENKICH PODWARSTW, Z UWZGLĘDNIENIEM POCHŁANIANIA I  
WYPROMIENIOWANIA PRZEZ NIE ENERGII CIEPLNEJ, W  
ZAGADNIENIACH POWIĄZANYCH Z OPRACOWANIEM PROCESÓW  
PRODUKCYJNYCH**

Przy wszystkich sposobach połączenia, które są wykorzystywane w produkcji struktur warstwowych, powstają przejściowe podwarstwy (o łączącym lub funkcjonalnym przeznaczeniu), fizyczne właściwości których mogą istotnie różnić się od właściwości pozostałych części struktury warstwowej. Stosownie oddziaływania wzajemnego z promieniowaniem cieplnym takie podwarstwy mogą być częściowo przezroczyste jak i nieprzezroczyste. Istniejące w literaturze dane o ich charakterystykach radiacyjnych są nieliczne. Jednak że są one konieczne przy modelowaniu i badaniach numerycznych procesów przeniesienia promieniowania oraz ciepła w napromieniowywanych strukturach warstwowych. W odrębnych przypadkach ocenę radiacyjnych właściwości warstw można otrzymać na podstawie znanych danych o radiacyjnych charakterystykach tworzących ich połączeń.

Dla tarczy z cienką częściowo przezroczystą przejściową podwarstwą przez wprowadzenie efektywnego współczynnika odbicia na umownej powierzchni rozgraniczającej warstwy podstawowe, otrzymane są zależności (uogólnione warunki opisujące przeniesienie promieniowania przez przejściową podwarstwą), które pozwalają wyłączyć przejściową podwarstwą z rozważań przy wyznaczaniu pola promieniowania. Z wykorzystaniem formalnej metody operatorowej zapisane zostały uogólnione warunki wymiany ciepła przez przejściową podwarstwą dowolnej przezroczystości przy uwzględnieniu efektów pochłaniania i wypromieniowania tą podwarstwą energii cieplnej przy jej wyłączeniu rozważań. Obydwa wspomniane warunki (względem przeniesienia promieniowania i wymiany ciepła) pozwalają na wykorzystanie dla opisu procesów przeniesienia promieniowania oraz ciepła w tarczy przy obecności przejściowych podwarstw model dwuwarstwowej tarczy przy więc złożonych radiacyjnych charakterystykach powierzchni kontaktu warstw jak i cieplnych warunkach kontaktu (warunkach nieidealnego kontaktu cieplnego). Otrzymane są również przybliżone zależności dla wyznaczania naprężeń w podstawowych warstwach, które uwzględniają odpowiednie (sprowadzone) charakterystyki sztywności na zginanie i rozciąganie cieniej podwarstwy przejściowej.

V. ASTASHKIN<sup>1</sup>, B. BOZHENKO<sup>1,2</sup>, O. ONYSHKO<sup>1</sup>, Y. NIASZIN<sup>3</sup>,  
A. STANIK-BESLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>3</sup> Perm State Technical University (Russia)

## **IŁOŚCIOWY OPIS PROCESÓW FIZYCZNO-MECHANICZNYCH W CIAŁACH O PAMIĘCI KSZTAŁTU Z WYKORZYSTANIEM NIEZMIENNIKÓW TENSORÓW NAPRĘŻEŃ ORAZ DEFORMACJI**

Zaproponowane jest podejście do opracowania modelu opisu zjawisk termomechanicznych w odkształcalnych ciałach stałych o pamięci kształtu, przebywających w warunkach przekształcenia martenzytycznego. Przy tym wykorzystuje się metody mechaniki continuum oraz termodynamiki procesów nierównowagowych. Jako podstawę termodynamicznego opisu układu przyjęto hipotezę o lokalnej termodynamicznej równowadze. Mechaniczne procesy opisywane są przy pomocy pierwszego i drugiego niezmienników tensorów naprężeń i deformacji, co pozwala na osobne uwzględnienie wpływu zmiany objętości i kształtu na przekształcenie fazowe.

Zapisany został układ równań stanu modelu. Sformułowano konieczne i wystarczające warunki przebiegu prostego i odwrotnego przekształcenia przy obciążeniu cieplnym i siłowym. Przy tym wykorzystano metodykę analogiczną do stosowanej w teorii plastyczności przy otrzymaniu warunków płynięcia. Zapisano fizycznie nieliniowy układ wyznaczalnych równań modelu. Otrzymano warunki sprzężenia na powierzchniach rozgraniczających obszary o różnym składzie fazowym.

W istniejących w tej dziedzinie modelach wpływ przekształcenia martenzytycznego uwzględniany był, z reguły, przez odpowiednie zależności fenomenologiczne. W proponowanym podejściu wpływ ten powiązuje się z pewnym teoretycznym ujęciem opisu przekształcenia, co pozwala na rozważanie procesów odkształcania ciał stałych o zmiennym składzie fazowym, a również opisu tego składu w warunkach złożonego stanu sprężystego bez dodatkowych założeń. Uwzględnienie powiązania zmiany kształtu ciała (intensywności naprężeń i deformacji) z przebiegiem przekształcenia martenzytycznego, które zaproponowane jest w opracowanym modelu, pozwala na bardziej adekwatne ujęcie termomechanicznych i strukturalnych procesów w ciałach o pamięci kształtu.

### **III. INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA W PROCESACH WYTWÓRCZYCH**





M. GAJEK, T. WOŁCZAŃSKI, U. MOCZYGĘBA

Politechnika Opolska

## **URZĄDZENIA TRANSPORTU BLISKIEGO WZGLĘDEM BEZPIECZEŃSTWA SPRZĘTU TECHNICZNEGO**

Człowiek narażony jest na największe niebezpieczeństwo w środowisku pracy, ponieważ wówczas o jego bezpieczeństwie decyduje nie tylko on sam i podjęte przez niego decyzje, ale również otoczenie: współpracownicy, pracodawca i stan techniczny maszyn czy urządzeń wykorzystywanych podczas pracy.

Z chwilą wprowadzenia przepisów prawa dotyczących bezpieczeństwa maszyn i urządzeń, twórcy prawa unijnego przyjęli umowną datę, od której wszystkie maszyny czy urządzenia oddane do eksploatacji na terenie UE muszą spełniać podwyższone wymagania dotyczące ich bezpieczeństwa, tzw. wymagania zasadnicze. Za datę przyjęto dzień 30 kwietnia 2004r. Natomiast dla maszyn, które zostały oddane do eksploatacji przed dniem 01.01.2003r. przyjęte zostały wymagania minimalne.

Rozwijające się przedsiębiorstwa wykorzystują w swojej produkcji coraz to więcej maszyn i urządzeń. W pracy przedstawiono działania dostosowawcze umożliwiające uzyskanie minimalnych wymagań UE względem bezpieczeństwa dla urządzeń transportu bliskiego.

Narzędziami wspomagającymi cały proces dostosowawczy był przygotowany algorytm oraz działania kontrolne. Algorytm opracowano na podstawie analizy przepisów dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy oraz na podstawie analizy budowy maszyny i wyznaczenia wszystkich stref i elementów zagrożeń. Działania kontrolne miały na celu ustalenie stanu faktycznego .

T. WOŁCZAŃSKI, J. RUT

Politechnika Opolska

## **MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA HAŁASU I JEGO SZKODLIWEGO DZIAŁANIA W PROCESIE PRACY**

Występujący podczas pracy hałas jest bardzo uciążliwy i stanowi problem w wielu przedsiębiorstwach. Techniczne środki zabezpieczeń stanowią jedno z kluczowych ogniw systemów bezpieczeństwa przed hałasem. Prawidłowe rozplanowanie przedsiębiorstwa (pod względem emisji hałasu) oraz odpowiednie wyposażenie pomieszczeń w techniczne systemy ograniczające hałas mogą przyczynić się do znacznej redukcji występującego hałasu.

Wszelkie zmiany konstrukcyjne maszyn i urządzeń, modyfikacji procesów technologicznych, zasad eksploatacji przyczyniają się do ograniczenia hałasu. Ponadto zastosowanie odpowiednich rozwiązań technicznych, systemów i metod znajduje swoje odzwierciedlenie w ograniczeniu emisji hałasu na stanowiskach pracy oraz w środowisku zewnętrznego wokół przedsiębiorstwa.

Stosowanie wszelkich działań jak i środków redukcji hałasu przyczynia się również do wzrostu poziomu bezpieczeństwa w przedsiębiorstwie, wydajności i jakości wykonywanej pracy. Należy zaznaczyć, że obecny poziom wiedzy w zakresie ochrony zdrowia jak również dostępne środki ochrony indywidualnej i zbiorowej oraz profilaktyka, pozwalają na ograniczenie hałasu i jego szkodliwego działania.

T. WOŁCZAŃSKI, J. RUT, E. BURKIEWICZ-JANIK

Politechnika Opolska

### **ANALIZA POZIOMU HAŁASU W WYBRANYM PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM**

Hałas jest powszechnym zagrożeniem występującym w środowisku pracy. W różnych sektorach gospodarki, zdecydowana większość stanowisk pracy, zagrożona jest hałasem. Każde urządzenie, maszyna czy środek transportu mogą być rozpatrywane jako źródło drgań i hałasu.

Poziom emisji hałasu przez dane urządzenie zależy od wielu czynników, takich jak typ urządzenia, moc, rodzaj wykonywanej czynności lub stopień zużycia urządzenia.

Hałas stwarza największe niebezpieczeństwo dla pracowników, jeśli jest zlokalizowany wewnątrz przestrzeni zamkniętych, tj. w halach przemysłowych, w różnego rodzaju pomieszczeniach, kabinach itp.

Obiektem badań w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym były stanowiska pracy zlokalizowane w wielu miejscach przy linii produkcyjnej.

Z przeprowadzonych analiz uzyskano wyniki wskazujące na przekroczenie poziomu hałasu wielu obszarach i na kilku stanowiskach pracy. W celu zmniejszenia emisji hałasu zaproponowano rozwiązania minimalizujące poziom hałasu na stanowiskach pracy.

M. GAJEK<sup>1</sup>, T. WOŁCZAŃSKI<sup>1</sup>, M. MADROW<sup>2</sup>,  
M. WINCENCIAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Opolska

<sup>2</sup>Uniwersytet Techniczny w Ostrawie

## **OCENA HAŁASU TURBIN WIATROWYCH. WPLYW NA CZŁOWIEKA**

Warunki ekologiczne i ekonomiczne narzucają podejmowanie czynności zmierzających do poszukiwania alternatywnych zasobów energii w tym w szczególności zasobów energii odnawialnej.

Energia wiatru jest formą energii słonecznej. Ona spowodowana jest ruchem mas powietrza wywołanym przez nierównomierne nagrzewaniem się powierzchni Ziemi. Turbiny wiatrowe są źródłem energii, która nie wytwarza zanieczyszczeń, co stanowi ich niewątpliwą zaletę. Na niekorzyść turbin wiatrowych wpływa głównie towarzyszący ich pracy hałas, którego źródłem jest wirnik turbiny, a dokładniej łopaty przecinające powietrze, jak i również pracująca przekładnia.

Odnawialnym źródłem energii, powszechnie wykorzystywanym w krajach Unii Europejskiej, coraz szerzej wkraczającym do naszego kraju jest energetyka wiatrowa. Rozwój technologiczny turbin wiatrowych pozwala na coraz większe wykorzystanie siły wiatru do produkcji energii. Doświadczenia i eksperymenty prowadzone nad siłowniami wiatrowymi zmierzają do zwiększenia ich sprawności oraz obniżenia poziomu hałasu wytwarzanego przez nie w trakcie pracy.

Omówiono tematykę regulacji prawnych dotyczących dopuszczalnych norm hałasu a również przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych na jednej z farm rozmieszczonych w sąsiedztwie urządzeń do przetwarzania energii wiatru, na której zbadano poziom hałasu.



J. RUT, E. KULIŃSKA

Politechnika Opolska

## **RFID – USPRAWNIE NIE IDENTYFIKACJI PROCESÓW PRODUKCJI PRZEMYSŁOWEJ PRZEDSIĘBIORSTW**

RFID jest technologia umożliwiającą identyfikację procesów produkcji poprzez drogę radiową. Usprawnia wiele procesów zachodzących w przedsiębiorstwie jak również zwiększa ich rozwój, efektywność i konkurencyjność.

Ciągle poszerzający się zakres zastosowań i stale rosnące możliwości technicznych systemów RFID umożliwiają przedsiębiorstwom szerokie spektrum działania. RFID optymalizuje efektywne zbieranie informacji, co jest podstawą funkcjonowania współczesnych informacyjnych systemów zarządzania procesami przedsiębiorstw.

Technologia RFID posiada ogromne możliwości optymalizujące procesy produkcyjne. Im bardziej skomplikowane procesy produkcyjne, tym więcej zyskać może przedsiębiorstwo decydując się na wykorzystanie technologii automatycznej identyfikacji radiowej. Możliwości funkcjonalne technologii RFID są ogromne.

Wśród wielu korzyści można wymienić np. możliwość wdrożenia w warunkach, w których nie sprawdzają się tradycyjne etykiety z kodami kreskowymi, odporność na niekorzystne warunki zewnętrzne takie jak: pył, wilgoć, wysokie i niskie temperatury, zapis większej ilości danych, przyspiesza wszystkie procesy zachodzące w przedsiębiorstwie, w szczególności procesy związane z produkcją przemysłową.

Technologia RFID ułatwia i usprawnia procesy zachodzące w przedsiębiorstwie, zapewnia ciągłą identyfikację bez dodatkowych nakładów pracy oraz przyczynia się do poprawy jakości procesów produkcyjnych i wyprodukowanych produktów.

J. RUT, B. MIŁASZEWICZ, M. WŁOKA

Politechnika Opolska

## **OCENA I ANALIZA BEZPIECZEŃSTWA W WYBRANYM PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM**

Organizowanie bezpiecznych warunków pracy jest obowiązkiem każdego pracodawcy. Obowiązek ten regulują odpowiednie akty prawne. Zasady organizowania bezpiecznych warunków pracy polegają na podejmowaniu takich działań, które mają zapewnić odpowiedni standard pracy.

Skuteczny system zarządzania bezpieczeństwem umożliwia nie tylko sprawne i zgodne z wymaganiami prawa funkcjonowanie przedsiębiorstwa, ale przynosi również inne, wymierne korzyści. Najważniejsze z nich to korzyści ekonomiczne wynikające z minimalizacji strat wskutek eliminowania wypadków przy pracy i chorób zawodowych.

W badanym przedsiębiorstwie istnieje wiele zagrożeń w wielu obszarach funkcjonalności przedsiębiorstwa oraz na stanowiskach pracy. Na podstawie przeprowadzonej oceny i analizy bezpieczeństwa w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym, można wywnioskować, że przedsiębiorstwo wprowadza zmiany ku zwiększaniu poziomu bezpieczeństwa.

Niestety występują jeszcze obszary, gdzie należy dokonać znacznych zmian i wdrożyć systemy oraz narzędzia podnoszące poziom bezpieczeństwa.

Należy jednak pamiętać, że organizacja bezpiecznych warunków pracy jest ściśle związana z poprawą wydajności, redukcją strat i co za tym idzie wzrostem zysku przedsiębiorstwa.

I. MULICKA, M. GAJEK

Politechnika Opolska

## **ANALIZA ZAGROŻENIA CZYNNIKAMI NIEBEZPIECZNYMI W FIRMACH PRZETWÓRSTWA ROLNEGO**

Środowisko pracy w gospodarstwie wiejskim czy, jak w badanym przypadku przetwórstwa rolnego, ma bardzo złożony charakter z uwagi na różnorodność stosowanych technologii. Do jego specyfiki zalicza się ponadto często nierytmiczny czas wykonywania czynności, okresowe spiętrzenie prac oraz zróżnicowanie warunków, w jakich przebiega praca. Ponadto warunki pracy i czynniki środowiska pracy ściśle związane są z warunkami bytowania rolnika. Złożoność środowiska pracy oraz warunki jej wykonywania często w wymuszonej pozycji ciała, przy dużym obciążeniu fizycznym i długotrwałym trwaniu wysiłku stwarzają sytuacje, w których może zaistnieć wypadek przy pracy.

Badania przeprowadzono w dwóch zakładach o profilu rolniczym. Celem badań było ustalenie zagrożeń czynnikami niebezpiecznymi występujących w badanych firmach o profilu rolnym oraz ustalenie głównych przyczyn wypadków przy pracy.

Zakład I to spółka prawa handlowego powstała w 1993 roku, która prowadzi produkcję roślinną i zwierzęcą. Produkcja roślinna prowadzona jest na 680 ha obejmujących łąki i pastwiska. Charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem upraw od zbóż, kukurydzy po buraki cukrowe. Produkcja zwierzęca to bydło, trzoda chlewna i kury. Pracownicy zatrudnieni w tym zakładzie mają dość duże doświadczenie, gdyż staż pracy ponad 60% to więcej niż 11 lat. Tylko 12% pracuje krócej niż 5 lat.

Zakład II to spółka z ograniczoną odpowiedzialnością, która powstała w 1995 roku. Spółka prowadzi produkcję roślinną (obszar 740 ha) i zwierzęcą (bydło i trzoda chlewna). Pracownicy zatrudnieni w tym zakładzie należą do dwóch grup stażowych, przy czym od 6 – 10 lat pracuje 35% ankietowanych pozostali pracują dłużej niż 11 lat. W Zakładzie I na pytanie związane z obsługą maszyn rolniczych odpowiedziało 56% badanych. Pozostali pracują przy hodowli zwierząt. W Zakładzie II 64% badanych pracuje na różnym sprzęcie technicznym pozostali zajmują się uprawą i hodowlą.

W badanych zakładach przetwórstwa rolnego, mimo dużej złożoności i specyfiki pracy miały miejsce w ostatnim okresie nieliczne wypadki przy pracy, których skutkiem były najczęściej drobne obrażenia

ciała a dwu przypadkach złamanie kończyn. Świadczy to o dość dobrych warunkach pracy, sprawnie działającym systemie szkoleń z zakresu bhp i opiece pracodawcy w tym zakresie. Dzięki wiedzy zdobytej podczas szkolenia bhp pracownik wie jak się zachować w sytuacjach zagrażających jego zdrowiu lub życiu.

W badanych zakładach pracownicy są zainteresowani podnoszeniem poziomu bezpieczeństwa, gdyż wszelkie nieprawidłowości i zagrożenia mają wpływ na ich zdrowie.

Bezpieczeństwo pracowników jest najważniejsze nie tylko dla kierownictwa, które ponosi odpowiedzialność w razie wystąpienia wypadku przy pracy, ale także dla samych pracowników. W opinii badanych to głównie pracownicy stwarzają sytuacje, które mogą zakończyć się wypadkiem przy pracy.

A. PYTEL, J. RUT

Politechnika Opolska

## **OCENA ZAGROZEŃ I RYZYKA ZAWODOWEGO NA WYBRANYCH STANOWISKACH PRACY W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM**

Ocena zagrożeń i ryzyka zawodowego jest jednym z obowiązków pracodawcy. Zgodnie z definicją z § 2 rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (tekst jedn.: Dz. U. z 2003 r. Nr 169, poz. 1650 z późn. zm.) ryzyko zawodowe to prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanych zdarzeń związanych z wykonywaną pracą, powodujących straty, w szczególności wystąpienia u pracowników niekorzystnych skutków zdrowotnych w wyniku zagrożeń zawodowych występujących w środowisku pracy lub sposobu wykonywania pracy.

W analizie wzięto pod uwagę kilka stanowisk pracy, a przeprowadzona ocena ryzyka w badanym przedsiębiorstwie wykazała najbardziej niebezpieczne zagrożenia, na które są narażeni pracownicy wykonujący określone prace na danych stanowiskach pracy.

Przeprowadzenie oceny zagrożeń i ryzyka zawodowego jest bardzo istotnym elementem w dążeniu do poprawy bezpieczeństwa i higieny pracy oraz ochrony zdrowia pracowników.

Dobrze zorganizowane, wyposażone i uporządkowane stanowisko pracy przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa oraz ogranicza wystąpienie zagrożeń dla zdrowia pracowników.

Ocena ryzyka zawodowego powinna być przeprowadzona na wszystkich stanowiskach pracy i obejmować wszystkie czynniki, które w sposób negatywny wpływają na pracowników.

M. GAJEK, A. PYTEL

Politechnika Opolska

**SZACOWANIE Z WYKORZYSTANIEM METODY RISK SCORE  
RYZYKA ZAWODOWEGO WYNIKAJĄCEGO  
Z ZAGROŻEŃ NA STANOWISKU PRACY  
KIEROWCY ŚRODKA TRANSPORTU**

Obowiązek przeprowadzania oceny ryzyka zawodowego na stanowiskach pracy i jego dokumentowania jest podstawą profilaktycznej ochrony zdrowia pracowników w zakładzie pracy. Zaproponowano ocenę ryzyka zawodowego na stanowisku pracy kierowcy środków transportu metodą wskaźnikową RISK SCORE, która służy do szacowania ryzyka strat ludzkich i materialnych, jakie mogą zaistnieć przy wykonywaniu określonej czynności, w ustalonym jednostkowym czasie.

Środowisko pracy kierowcy środków transportu, a więc warunki w których czynności robocze się odbywają, zależne jest od wielu czynników materialnych i niematerialnych. Stąd też dokładnie przeprowadzona ocena ryzyka zawodowego na stanowiskach pracy powinna zawierać oprócz rozpoznania czynników fizykochemicznych, diagnozę źródeł przesilenia psychicznego, zaistniałych wypadków jak i analizę przyczyn dolegliwości pracowniczych.

Warunki pracy kierowcy, a więc temperatura, hałas, drgania, oświetlenie zależą od stanu technicznego pojazdu i jego nowoczesności. Zawód kierowcy powiązany jest z licznymi zagrożeniami związanych z długim pozostawaniem w pozycji siedzącej, drganiami, uczestnictwem w ruchu drogowym i narażenia na hałas, spaliny samochodowe, monotonia rutynowych czynności przy jednoczesnym skupieniu uwagi na warunkach drogowych.

Europejskie podejście do bezpieczeństwa i zdrowia w pracy obejmuje ocenę ryzyka i wdrożenie środków zapobiegawczych oraz priorytetowe potraktowanie wyeliminowaniu ryzyka u źródła.

Z przeprowadzonej analizy i oceny ryzyka wynika, iż praca w sektorze transportu drogowego wymaga wysokich **umiejętności i kompetencji zawodowych**. Praca kierowcy należy do średnio ciężkich ze względu na obciążenia fizyczne. Ze względu na obciążenia psychiczne, związane z odpowiedzialnością za bezpieczeństwo przewożonych towarów lub ludzi, można uznać ją za dosyć ciężką. Od kierowcy wymaga się dużej sprawności narządu wzroku, narządu słuchu oraz układu kostno-stawowego jak również zmysłu równowagi.

J. RUT, T. WOŁCZAŃSKI, A. PYTEL, P. KNOP

## **ANALIZA ZAGROŻEŃ W ŚRODOWISKU PRACY ZAKŁADU STOLARSKIEGO**

Wypadki i awarie w zakładach stolarskich raczej nie noszą znamion katastrof i rzadko niosą ze sobą konsekwencje zdrowotne dla dużej grupy osób. Wypadki w tej branży są jednak dość częste. Środowisko pracy zakładu stolarskiego należy do bardziej urozmaiconych pod względem występujących na nim szkodliwych czynników. Wynika to m.in. z różnorodności typów obróbki i materiałów stosowanych w meblarstwie, z których wiele wykazuje niebezpieczne właściwości takie jak łatwopalność czy szkodliwy pył powstający w czasie obróbki.

Każde ze stanowisk pracy w zakładzie stolarskim charakteryzuje się nieco innym natężeniem zidentyfikowanych czynników. Istotnym jest, by po ich identyfikacji i określeniu natężenia każdego z czynników dobrać odpowiednie środki techniczne, organizacyjne lub środki ochrony indywidualnej, które pozwolą zmniejszyć wpływ zagrożeń na zdrowie pracownika.

Dobrze wykonana analiza ryzyka zawodowego połączona z analizą wypadków przy pracy może stanowić skuteczne narzędzie w sukcesywnym zmniejszaniu ryzyka zawodowego. Jednak ogromny wpływ na rezultaty polityki bezpieczeństwa i higieny pracy w przedsiębiorstwie mają nie jednorazowe zabiegi, lecz konsekwentne i ciągłe samodoskonalenie.

I. MULICKA, M. GAJEK

Politechnika Opolska

## **PRÓBA USTALENIA HIERARCHII MOTYWACJI DO PRACY**

Motywacje są jednym z ważniejszych elementów składających się na społeczne warunki pracy. To one decydują o tym, czy pracownik będzie mógł zaspokoić potrzeby swoje i swojej rodziny, i osiągnąć wartości, które są dla niego istotne. Motywacja do pracy jest narzędziem, którym chętnie posługują się współcześni pracodawcy. Ich zdaniem motywacja do pracy ma nie tylko związek ze zmianą podejścia pracowników do pracy przez wzrost ich zaangażowania, ale i ze wzrostem wydajności pracy.

W pracy przedstawiono wyniki badań ankietowych przeprowadzonych w usługowej firmie prywatnej. Firma zajmuje się głównie sprzedażą mebli i wyposażenia mieszkań, a zlokalizowana jest w mieście średniej wielkości w województwie opolskim, w którym występuje dość duże bezrobocie. Firma działa na rynku od kilkunastu lat i dobrze radzi sobie z dużą konkurencją. Czy jest to zasługą odpowiedniej polityki właścicieli i właściwego zarządzania zasobami ludzkimi, w tym odpowiedniego systemu motywowania to pytanie, na które poniżej przytoczone wyniki badań powinny dać odpowiedź. Celem badań było sprawdzenie jak przekłada się wiedza teoretyczna na temat motywowania pracowników na konkretne społeczne warunki pracy funkcjonujące w tejże firmie. Badania ankietowe pozwoliły nie tylko określić zakres środków motywacyjnych stosowanych przez pracodawcę, ale i na ich subiektywną ocenę przez badanych. Na podstawie otrzymanych wyników określono hierarchię motywacji, w tym niematerialnych z uwzględnieniem stażu pracy ankietowanych.

Niewątpliwie poznanie oczekiwań pracowników oraz ocena ich potencjału pozwoli pracodawcy na właściwe zarządzanie zasobami ludzkimi i odpowiedni dobór czynników motywacyjnych. Pracownicy przyznają, że jak dla każdego zatrudnionego wynagrodzenie za pracę odgrywa dla nich szczególnie ważną rolę. Odrębną grupę czynników motywujących stanowią czynniki niematerialne, które najczęściej dotyczą możliwości podnoszenia w różny sposób kwalifikacji, możliwość awansu oraz partycypację w kierowaniu firmą a także działania zmierzające do stworzenia dobrej atmosfery w pracy oraz bezpieczeństwo jej wykonywania.

Uzyskane wyniki pozwoliły na stwierdzenie, że dominujące znaczenie w wachlarzu potencjalnych motywacji do pracy mają motywacje



materialne doceniane przez pracowników niezależnie od stażu pracy i płci. W badanej firmie ta motywacja jest oceniana jako najważniejsza przez pracowników z grupy o najdłuższym stażu pracy, przy czym i grupa o średnim stażu jest nią żywotnie zainteresowana.

Okazało się jednak, że w przypadku tej firmy, motywacje niematerialne odgrywają najważniejszą rolę w motywowaniu pracowników. Do czynników motywacyjnych niematerialnych zalicza się czynniki związane z optymalnymi warunkami pracy, z możliwością rozwoju i awansu zawodowego oraz dobrą atmosferą w pracy. Również rozwiązania w sferze organizacji pracy (rotacja pracy, jej rozszerzenie i wzbogacenie), w tym możliwość samorealizacji oraz partycypacja w zarządzaniu firmą należą do często stosowanych przez pracodawców.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że oczekiwania i motywacje do pracy ludzi są bardzo różne. Inne czynniki motywujące są ważne dla grupy z najkrótszym stażem, inne dla pracowników z większym stażem pracy. Pracodawca musi sobie z tego zdawać sprawę. Tylko wiedza na temat oczekiwań pracowników oraz właściwy dobór systemu motywacji niematerialnych może się okazać kluczem do sukcesu niejednej firmy średniej wielkości.

I. MULICKA, M. GAJEK, K. KOCZUR

Politechnika Opolska

## **KOMUNIKACJA SPOŁECZNA W FIRMIE PRODUKCYJNEJ**

Komunikacja, bez słowa „społeczna” może zostać błędnie zrozumiana jako transport drogowy, rzeczny, lądowy itd. Niewątpliwie socjalizacja człowieka i postęp cywilizacyjny jest nierozzerwalnie związany z rozwojem mowy czyli komunikacją społeczną. Mimo, że umiemy się posługiwać mową to nie zawsze proces komunikacji kończy się sukcesem, czyli odebraniem przez odbiorcę identycznej treści i przesłania, które było intencją nadawcy.

Każdy proces komunikowania się jest ważny i przez to niezbędny do funkcjonowania w relacjach między członkami danej grupy. Proces komunikacji składa się z czterech podstawowych elementów:

- kontakt społeczny - osoby komunikujące się muszą być ze sobą w kontakcie.
- wspólny środek przekazu - komunikujące się strony muszą korzystać ze wspólnego języka lub innego wspólnego środka komunikacji.
- przekaz - każda wiadomość musi być jasno przekazana.
- zrozumienie – przekazana wiadomość musi być przyjęta, zrozumiana i prawidłowo zinterpretowana.

W pracy przedstawiono wyniki badań ankietowych przeprowadzonych w zakładzie pracy X z branży metalowej w województwie opolskim. Celem badań była ocena roli jaką odgrywa komunikacja społeczna w rozbudowie środowiska pracy, a w szczególności, w rozwiązywaniu konfliktów w danej firmie z uwzględnieniem wymienionych wyżej elementów procesu komunikacyjnego.

Wyniki badań ankietowych zaprezentowano z punktu widzenia pracowników zatrudnionych na stanowiskach fizycznych oraz na stanowiskach umysłowych. Pozwoliło to na kompleksowe ujęcie badanego problemu.

I. TREMBACZ, S. MORYŃ

Politechnika Opolska

**PROBLEMY BEZPIECZNEGO WYKORZYSTANIA TŁUSZCZY  
ODPADOWYCH. ASPEKTY PRAWNE, EKONOMICZNE I  
TECHNICZNE**

Odpowiednio do szczegółowych warunków weterynaryjnych przy zbieraniu, przetwarzaniu, grzebaniu lub spalaniu zwłok zwierzęcych i ich części oraz odpadów poubojowych (Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 23 grudnia 1998r., Dz. ust. Nr 3, poz.), działalność polegająca na przetwarzaniu zwłok zwierzęcych i ich części oraz odpadów poubojowych, zwanych dalej „odpadami zwierzęcymi”, może być prowadzona wyłącznie w specjalnie do tego celu przeznaczonym obiekcie, zwanym dalej „zakładem utylizacyjnym”. Obiekty przetwarzające odpady tłuszczowe muszą również spełniać wymogi dotyczące warunków sanitarnych (ze względu na zagrożenie epidemiologiczne pracowników).

Wymogi te istotnie zależą od kategorii odpadów.

Kategoria I wymaga bezwarunkowej utylizacji odpadów w spalarni. Jest to wymóg wynikający z ryzyka zagrożenia przeniesieniem gąbczastego zwyrodnienia mózgu. Z kolei odpady poubojowe kategorii II i III mogą zostać przetworzone w procesie fermentacji beztlenowej, po uprzedniej obróbce termicznej z zachowaniem dodatkowych warunków:

- odpady kategorii II poddawane są sterylizacji w temperaturze 133°C przy ciśnieniu 3 bar w czasie nie krótszym niż 20 minut,
- odpady kategorii III poddawane są pasteryzacji, polegającej na higienizacji w temperaturze 70°C w czasie nie krótszym niż 60 minut.

W pracy przedstawiono aspekty prawne względem bezpieczeństwa wykorzystania odpadów tłuszczowych oraz zaproponowano budowę układu magazynowania i ich obróbki wstępnej w celu produkcji biogazu w oczyszczalni ścieków.