

Viktor EROFEENKO<sup>1</sup>  
Aleksandr KUTS<sup>2</sup>  
Gennady SHUSHKEVICH<sup>3</sup>

## PROPAGATION OF LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC WAVES ACROSS A MULTILAYER CYLINDRICAL SHELL

In the paper the results of the analysis of propagation of the low-frequency electromagnetic waves across the multilayer cylindrical shell are presented. The mathematical model of non-local bilateral boundary conditions of multilayer cylindrical shells was created. These non-local bilateral boundary conditions describe the penetration of low-frequency electromagnetic waves across layers of the shell. The method of transformation of the boundary problem to the integral Fredholm equations of the second kind was developed. Furthermore, the value of efficiency coefficient of the shell was calculated. Analytical transformations are based on the Bessel functions.

**Keywords:** Bessel function, boundary conditions, electromagnetic waves, electromagnetic field

## PRZENIKALNOŚĆ FAL ELEKTROMAGNETYCZNYCH O NISKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI PRZEZ WIELOWARSTWOWĄ POWŁOKĘ WALCOWĄ

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki analizy przenikania fal elektromagnetycznych o niskiej częstotliwości przez wielowarstwową powłokę walcową. Zbudowano model matematyczny nielokalnych dwustronnych warunków brzegowych wielowarstwowch powłok walcowych. Te dwustronne nielocalne warunki brzegowe opisują przenikanie pola elektromagnetycznego o niskiej częstotliwości przez warstwy powłoki. Opracowano sposób przekształcania równań brzegowych do całkowych równań Fredholma drugiego rodzaju. Ponadto obliczono wartość współczynnika sprawności powłoki. Do przekształceń analitycznych wykorzystano funkcje Bessela.

**Słowa kluczowe:** funkcja Bessela, warunki brzegowe, fale elektromagnetyczne, pole elektromagnetyczne

DOI: 10.7862/rm.2014.51

Otrzymano/received: 20.07.2014 r.

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Viktor Erofeenko, Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Avenue, 220050 Minsk, Belarus, (+375)172095248, e-mail: bsu\_erofeen-ko@tut.by

<sup>2</sup> Aleksandr Kuts, Belarusian State University, e-mail: sadako1983@mail.ru

<sup>3</sup> Gennady Shushkevich, Belarusian State University, e-mail: g\_shu@tut.by

Rafał GAŁEK<sup>4</sup>  
Paweł GIL<sup>5</sup>  
Sebastian GROSICKI<sup>6</sup>  
Franciszek WOLAŃCZYK<sup>7</sup>

## WYMIENNIKOWY ZASOBNIK CIEPŁA W MIKROKOGENERACJI

Artykuł przedstawia wyniki eksperymentalne okresowego badania efektów pracy wolno stojącego wymiennika z węzownicą spiralną jako zasobnika ciepła w instalacji kogeneracji opartej na małej jednostce kogeneracyjnej GECC60A2N firmy AISIN. Zasobnik jako bufor ciepła ma zapewnić możliwość dostarczenia czynnika grzewczego do odbiorcy przy chwilowym poborze większym niż wydajność źródła ciepła. Czasowy okres badań instalacji mikro-kogeneracji wyznaczało rozpoczęcie ładowania zasobnika, a zakończenie badań to włączenie zewnętrzne chłodzenia kogeneratora. Otrzymane wartości pomiarów mocy cieplnej kogeneratora zasilającego zasobnik w ciepło mają tendencję spadkową, dochodzącą do 60% początkowej mocy.

**Słowa kluczowe:** kogeneracja, mikro CHP, zasobnik ciepła

## STORAGE TANK WITH HEAT EXCHANGER AT MICROCOGENERATION SYSTEMS

### Summary

This article presents the results of experimental periodic studies on the effect of work of a free-standing exchanger with a spiral coil as a heat storage tank in the cogeneration installation based on the small AISIN GECC60A2N cogeneration unit. The heat storage tank as a heat buffer is to deliver the heating medium during the temporary request greater than the heat source efficiency. Investigations of cogeneration were started at the moment of heat storage tank and it was finished at startup of external cooling of the cogenerator. The measurement values of thermal power of cogenerator feeding the heat accumulator tend to decrease to 60% of the initial power.

**Keywords:** cogeneration, micro CHP, heat storage tank

DOI: 10.7862/rm.2014.52

*Otrzymano/received: 2.09.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 22.11.2014 r.*

---

<sup>4</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Rafał Gałek, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, tel.: (17) 86251341, e-mail: rafalgalek@prz.edu.pl

<sup>5</sup> Paweł Gil, Politechnika Rzeszowska, e-mail: gilpawel@prz.edu.pl

<sup>6</sup> Sebastian Grosicki, Politechnika Rzeszowska, e-mail: sebogr@prz.edu.pl

<sup>7</sup> Franciszek Wolańczyk, Politechnika Rzeszowska, e-mail: fwolan@prz.edu.pl

## ANALIZA KINEMATYKI MANIPULATORA O PIĘCIU STOPNIACH SWOBODY

W artykule przedstawiono analizę kinematyki manipulatora o pięciu stopniach swobody na przykładzie jednostki kinematycznej robota manipulacyjnego Scorbot-ER 4pc. Do opisu kinematyki układu zastosowano notację Denavita-Hartenberga. Przyjęto schemat kinematyki manipulatora i podano parametry opisujące układ. Zapisano odpowiednie macierze transformacji, które zastosowano w dalszej analizie. Wyznaczono jakobian analityczny manipulatora oraz jakobian geometryczny w ciele i przeprowadzono analizę osobliwości. Są to takie konfiguracje manipulatora, w których wyznaczenie rozwiązania zadania odwrotnej kinematyki jest znacznie utrudnione, a przy zastosowaniu klasycznych metod – niemożliwe. Dlatego znajomość konfiguracji osobliwych jest niezbędna w celu poprawnego planowania i generowania trajektorii manipulatora. Zaprezentowana metodyka jest uniwersalna i może być stosowana do analizy kinematyki manipulatorów o innej strukturze kinematycznej niż zaprezentowana w niniejszej pracy.

**Słowa kluczowe:** jakobian, konfiguracje osobliwe, notacja Denavita-Hartenberga

### ANALYSIS OF THE KINEMATICS OF THE 5DOF MANIPULATOR

#### Summary

In the paper the kinematics analysis of 5 degrees of freedom manipulator is presented. The analysis was realised for the Scorbot-ER 4pc robotic manipulator. To describe the kinematics of the manipulator the Denavit-Hartenberg notation is used. The kinematics scheme and parameters of the manipulator as well as appropriate transformation matrices, that were used in the further analysis, are given. The analytical Jacobian of the manipulator and the geometrical Jacobian in the body are determined and the analysis of singularities is realised. In singular manipulator's configurations the solution of the inverse kinematics problem is very difficult, and using classical methods – impossible. Therefore, knowledge of the singular configurations is necessary for the proper planning and generating the trajectory of the manipulator. The presented methodology is universal and can be used to analyze the kinematics of manipulators with a other kinematic structure that is not presented in this paper.

**Keywords:** Jacobian, singular configuration, Denavit-Hartenberg notation

DOI: 10.7862/rm.2014.53

*Otrzymano/received: 10.06.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 12.11.2014 r.*

---

<sup>8</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Piotr Gierlak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, tel.: (17) 8651854, e-mail: pgierlak@prz.edu.pl

## ADAPTIVE CONTROL OF THE SCORBOT-ER 4PC MANIPULATOR

The problem of the manipulator tracking control is not trivial because the manipulator is a nonlinear object, whose parameters may be unknown and variable. The control law should enable the manipulator to behave correctly even when operational conditions are changeable. The adaptive control system meets this requirement. In this paper, both kinematic and dynamic equations of motion for the Scorbot-ER 4pc are presented. The adaptive control algorithm was derived for this manipulator. The presented control and adaptive laws guarantee practical Lyapunov stability. The results of verification of theoretical investigations are presented. Experiments were carried out on a work station which consists of the Scorbot-ER 4pc robotic manipulator, a computer with Matlab and dSPACE ControlDesk software and a DS1006 digital signal processing board. In the experiments, the specified point of the manipulator has moved on a desired circular path and the gripper of the manipulator was loaded in variable ways. The operation of adaptive control system was compared with the computed moment method. From the result of the comparison we can see that, in practice, the adaptive control gives better results.

**Keywords:** robotic manipulator, manipulator's dynamics, adaptive control system, Lyapunov stability

## ADAPTACYJNE STEROWANIE MANIPULATOREM SCORBOT-ER 4PC

### Streszczenie

Sterowanie ruchem nadeżnym manipulatora nie jest prostym zagadnieniem, ponieważ manipulator jest nieliniowym obiektem, którego parametry mogą być nieznane i zmienne. Prawo sterowania powinno uwzględniać te aspekty i umożliwiać manipulatorowi poprawne działanie nawet wtedy, gdy warunki jego pracy są zmienne. Wymaganie to jest spełnione przy zastosowaniu adaptacyjnych układów sterowania. W artykule przedstawiono równania kinematyki i dynamiczne równania ruchu manipulatora Scorbot-ER 4pc. Zaprezentowane prawa sterowania i adaptacji gwarantują praktyczną stabilność w sensie Lapunowa. W pracy zamieszczono rezultaty weryfikacji prezentowanych rozwiązań teoretycznych. Eksperymenty przeprowadzono na stanowisku, które składa się z robota manipulacyjnego Scorbot-ER 4pc, komputera PC z oprogramowaniem Matlab i dSPACE ControlDesk oraz karty kontrolno-pomiarowej DS1006. Podczas eksperymentów wybrany punkt manipulatora poruszał się po żądanym torze kołowym, a chwytak manipulatora był obciążany zmiennym ładunkiem. Działanie adaptacyjnego układu sterowania porównano z działaniem układu z zaimplementowaną metodą wyliczania momentu. Z porównania jakości sterowania wynika, że w praktyce lepsze wyniki zapewnia stosowanie sterowania adaptacyjnego.

**Słowa kluczowe:** robot manipulacyjny, dynamika manipulatora, adaptacyjny układ sterowania, stabilność w sensie Lapunowa

DOI: 10.7862/rm.2014.54

*Otrzymano/received: 2.07.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 12.11.2014 r.*

---

<sup>9</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Piotr Gierlak, Rzeszow University of Technology, 8 Powstańców Warszawy Avenue, 35-959 Rzeszow, Poland, tel.: (17) 8651854, e-mail: pgierlak@prz.edu.pl

## KRYTERIUM POWSTAWANIA STRUGI SYNTETYCZNEJ

W pracy przedstawiono kryterium powstawania strugi syntetycznej. Zaprezentowano wyniki pomiaru prędkości powietrza w osi dyszy generatora strugi syntetycznej dla zmiennej częstotliwości  $f = 5-400$  Hz generatora, zmiennej średnicy dyszy  $d = 15, 24, 40$  mm oraz zmiennej głębokości komory rezonansowej generatora  $H = 20, 40, 60$  mm. Dokonano pomiaru mocy elektrycznej przetwornika elektroakustycznego. Porównano uzyskane wartości liczb Reynoldsa oraz Stokesa z danymi literaturowymi oraz warunkiem powstawania strugi syntetycznej, uzyskując zbieżność otrzymanych wyników.

**Słowa kluczowe:** struga syntetyczna, liczba Reynoldsa, kryterium powstawania strugi, częstotliwość rezonansowa

## A CRITERION FOR FORMATION OF SYNTHETIC JET

### Summary

The paper presents a criterion for the formation of a synthetic jet. The paper presents air velocity measurement in the axis of the nozzle of synthetic jet generator for various frequencies  $f = 5-400$  Hz, various nozzle diameters  $d = 15, 24, 40$  mm and for various cavity depths  $H = 20, 40, 60$  mm. Electrical power of electroacoustic transducers was measured. Obtained values of Reynolds and Stokes numbers were compared with literature data, and the criterion for synthetic jet formation. Convergence of the obtained results was gained.

**Keywords:** synthetic jet, Reynolds number, criterion for jet formation, resonant frequency

DOI: 10.7862/rm.2014.55

*Otrzymano/received: 2.06.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 2.11.2014 r.*

---

<sup>10</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Paweł Gil, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, tel.: (17) 8651326, e-mail: gilpawel@prz.edu.pl

<sup>11</sup> Piotr Strzelczyk, Politechnika Rzeszowska, e-mail: piotstrz@prz.edu.pl

## ANALIZA PROCEDUR STANÓW AWARYJNYCH SILNIKÓW W SAMOLOTACH LEKKICH I ICH WPŁYW NA SKUTKI WYPADKÓW LOTNICZYCH

Na podstawie analizy teorii eksploatacji złożonych struktur technicznych przedstawiono samolot lekki jako obiekt eksploatacyjny. Szczególną uwagę zwrócono na zespół napędowy, wskazując na jego istotną rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa eksploatacji całego statku powietrznego. Na podstawie analizy instrukcji eksploatacji wybranych samolotów lekkich oraz produkowanych do nich silników dokonano przeglądu procedur postępowania w stanach awaryjnych zespołu napędowego. Następnie wykonano analizę przyczyn wypadków w klasie samolotów lekkich, gdzie wskazano na znaczący udział wypadków spowodowanych awarią zespołu napędowego w ogólnej liczbie wypadków w tej klasie statków powietrznych. Wykonano analizę liczby wypadków ze skutkiem śmiertelnym, wskazując, że awarie zespołu napędowego nie mają w tym względzie znaczącego udziału. Wskazano jednak, że co 12. wypadek spowodowany awarią tego zespołu pociąga za sobą ofiary śmiertelne. Wyniki analizy wypadkowości samolotów lekkich skonfrontowano z zaleceniami instrukcji dotyczącej postępowania w stanach awaryjnych zespołu napędowego. Posłużyło to do opracowania wniosków na temat aktualnego stanu bezpieczeństwa eksploatacji, jak też zaleceń na przyszłość, w celu podnoszenia niezawodności i bezpieczeństwa eksploatacji samolotów lekkich.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo, stany awaryjne silników, niezawodność systemów, procedury awaryjne w lotnictwie

## ANALYSIS OF LIGHT AIRCRAFT ENGINE EMERGENCY PROCEDURES AND THEIR IMPACT ON THE EFFECTS OF AIRCRAFT ACCIDENT

### Summary

Special analysis was done for small aircraft maintenance problems based on the complex structures maintenance theory. In this background the propulsion systems of small aircraft was carefully studied. The important role of this element in safe aircraft operation was studied and discussed. Based on the maintenance instructions of chosen light aircrafts the emergency procedures for engine faults were analyzed. Then the reasons of light aircrafts accidents were studied. A significant proportion of accidents caused by engine fault in the total number of accidents in this aircraft class are indicated. In this way the conclusions about propulsion faults influence on the light aircrafts operability were formulated. Fatal accidents share in total light aircrafts accidents were analyzed too. In this way some conclusions were formulated about emergency procedures for engine faults and their influence on fatal accidents. It is indicated that every twelfth accident is caused by propulsion system fault. Some conclusions were formulated about actual light aircraft maintenance problems connected with propulsion system faults and about future development of piston engine maintenance systems in light aircrafts.

**Keywords:** safety, engines faults, systems reliability, aviation emergency procedures

DOI: 10.7862/rm.2014.56

*Otrzymano/received: 10.08.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 12.11.2014 r.*

---

<sup>12</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Robert Jakubowski, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, tel.: (17) 8651466, e-mail: robert.jakubow-ski@prz.edu.pl

## ENDOCHRONIC MODEL OF PLASTICITY GENERALIZING SANDERS'S THEORY

The Sanders's theory of plasticity and quasi-statistical variant of incremental plastic theory with isotropic and kinematic hardening in Novozhilov's version are generalized in the frameworks of the endochronic approach. The constitutive equations of endochronic theory of inelasticity including the ideas of Sanders, Novozhilov and Valanis are formulated. The relations for the calculation of stresses and strains in uniaxial active and reversible material loadings are proposed. The formulas are obtained by using the elementary average principle of local values and by the simplest set of material constants and functions. Two types of initial conditions are considered in the calculations. The results of numerical modeling of inelastic material behavior under uniaxial active and cyclic loadings are presented. The results are compared with each other and with original Sanders's theory. The similarity and differences between the generalized endochronic theory and the Sanders's version are demonstrated. Several unusual manifestations of inelastic material behavior that require further theoretical analysis, calculations on the complex loading paths and the experimental verification are noted.

**Keywords:** plasticity, theory, endochronic approach, constitutive equations, quasi-statistical variant

## ENDOCHRONICZNE UOGÓLNIENIE TEORII PLASTYCZNOŚCI SANDERSA

### Streszczenie

W pracy w ramach podejścia endochronicznego dokonano uogólnienia teorii plastyczności Sandersa i quasi-statystycznego wariantu przyrostowej teorii plastyczności dla izotropowego kinematycznego umocnienia Nowożyłowa. Sformułowano równania konstytutywne endochronicznej teorii zachowania niesprężystego, oparte na koncepcjach Sandersa, Nowożyłowa i Valanisa. Zaproponowano zależności obliczeniowe dla naprężeń i odkształceń w przypadku aktywnego jednoosiowego obciążenia odwracalnego. Zależności te otrzymano przez zastosowanie zasady uśredniania wartości lokalnych dla podstawowego zestawu parametrów materiałowych. W obliczeniach rozważano dwa typy warunków początkowych. Zaprezentowano wyniki obliczeń numerycznych dla materiału niesprężystego poddanego aktywnemu obciążeniu jednoosiowemu oraz obciążeniu okresowemu. Dokonano analizy porównawczej wyników, w tym z wykorzystaniem teorii Sandersa. Przedstawiono różnice i podobieństwa pomiędzy uogólnioną teorią endochroniczną a teorią Sandersa. Wyszczególniono wiele niestandardowych efektów niesprężystego zachowania materiału, wymagających dalszych badań teoretycznych.

**Słowa kluczowe:** plastyczność, teoria, endochroniczne podejście, równania konstytutywne, wersja quasi-statystyczna

DOI: 10.7862/rm.2014.57

*Otrzymano/received: 14.06.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 20.11.2014 r.*

---

<sup>13</sup> Yulij Kadashevich, Technological University of Plant Polymers, e-mail: kadashevich-yulij@yandex.ru

<sup>14</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Sergey Pomytkin, University of Aerospace Instrumentation, 67 Bolshaya Morskaya St., Saint-Petersburg 190000, Russia, tel.: (+7 812) 7084372, e-mail: sppom@yandex.ru

## COMPARATIVE 3D FEM ANALYSIS OF THREE DIFFERENT DENTAL IMPLANT SHAPES

This paper presents the results of numerical modeling using the finite element method of three implants. Geometric models of individual parts of the analyzed system (implant, abutment and screw) and the standard models of the bone and the crown were built in the Ideas NX environment. On the basis of real geometric models the fully three-dimensional numerical models were built. The calculations for different implant systems were carried out using MARC/Mentat commercial software. The numerical models of each system consist of five deformable bodies being connected to each others. Modeling was carried out in two stages. The first stage includes the modeling of the stresses in the bone-implant-abutment-screw assembly. The preload of models was set so that the axial stress in the screw core is equal to 75% of yield stress of material from which the screw was made. In the second stage the model with assembly stresses was being loaded with oblique force on the crown with values in the range from 0 to 250 N. An analysis and comparison of stress distributions and values of stresses in analysed implant systems were carried out. This investigation shows the meaningful influence of the shape of implant of an abutment on distribution and values of stress, load capacity of individual implant systems, and furthermore, stress in osseous tissue.

**Key words:** dental implants, 3D numerical analysis, load, stress distribution

## BADANIA PORÓWNAWCZE TRZECH RÓŻNYCH KSZTAŁTÓW IMPLANTÓW DENTYSTYCZNYCH Z ZASTOSOWANIEM 3D MES

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki modelowania numerycznego MES trzech systemów implantologicznych. Modele geometryczne poszczególnych części badanych układów (implant, łącznik, śruba) oraz standardowe modele kości i korony zostały utworzone w programie Ideas NX. Na podstawie modeli geometrycznych zbudowano trójwymiarowe modele numeryczne badanych systemów. Symulacje numeryczne poszczególnych systemów implantologicznych przeprowadzono za pomocą komercyjnego oprogramowania MARC/Mentat. Model numeryczny każdego systemu składał się z pięciu ciał odkształcalnych połączonych ze sobą. Analizę numeryczną dla poszczególnych systemów implantów przeprowadzono w dwóch etapach. Pierwszy obejmował modelowanie naprężeń montażowych. Obciążenie montażowe było zadawane w taki sposób, aby naprężenia osiowe w rdzeniu śruby wynosiły 75% granicy plastyczności materiału, z którego jest ona wykonana. W drugim etapie model ze wstępnymi naprężeniami montażowymi był obciążany na koronie ukośnie siłą w zakresie wartości od 0 do 250 N. Dokonano analizy oraz porównania rozkładów i wartości naprężeń występujących w badanych systemach implantologicznych. Badania wykazały znaczący wpływ kształtu implantu oraz łącznika na rozkład i poziom naprężeń oraz nośność poszczególnych systemów implantologicznych, a także na naprężenia w tkance kostnej.

**Słowa kluczowe:** implanty dentystyczne, analiza numeryczna 3D, obciążenie, rozkład naprężeń

DOI: 10.7862/rm.2014.58

*Otrzymano/received: 20.07.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 22.11.2014 r.*

---

<sup>15</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Stanisław Kut, Rzeszów University of Technology, 8 Powstańców Warszawy Avenue, 35-959 Rzeszów, Poland, tel.: (17) 8651558, e-mail: stan\_kut@prz.edu.pl



Janka MAJERNÍKOVÁ<sup>16</sup>  
Emil SPIŠÁK<sup>17</sup>  
Ján SLOTA<sup>18</sup>  
Wiesław FRĄCZ<sup>4</sup>

## NUMERICAL SIMULATION OF DEEP-DRAWING PROCESS

The article deals with the analysis of formability of deep-drawing DC06 steel sheets. The aim of the investigations is to verify possibilities of formability of sheet metal with thickness of 0.85 mm. The mechanical parameters of the sheets have been determined in uniaxial tensile and bulge tests. The numerical simulations using AUTOFORM has been carried out for two drawpiece models. Obtained results can be used during the simulation of real forming process.

**Keywords:** formability, numerical simulation, steel sheet

## SYMULACJA NUMERYCZNA PROCESU GŁĘBOKIEGO TŁOCZENIA

### Streszczenie

Artykuł obejmuje tematykę analizy odkształcalności blachy stalowej głęboko tłocznej gatunku DC06. Celem badań była weryfikacja możliwości odkształcania blach o grubości 0,85 mm. Właściwości mechaniczne blach określono w testach jednoosiowego rozciągania oraz wybrzuszania blachy. Symulacje numeryczne w programie AUTOFORM przeprowadzono dla dwóch modeli wytłoczek. Otrzymane wyniki mogą być wykorzystane do symulacji rzeczywistego procesu formowania.

**Słowa kluczowe:** odkształcalność, symulacja numeryczna, blacha stalowa

DOI: 10.7862/rm.2014.59

*Otrzymano/received: 10.11.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 24.11.2014 r.*

---

<sup>16</sup> Autor do korespondencji/corresponding autor: Janka Majerníková, Technical University of Košice, 74 Mäsiarska, Košice, Slovakia, tel.: (+421) 556023509, e-mail: jana.majernikova@tu-ke.sk

<sup>17</sup> Emil Spišák, Technical University of Košice, e-mail: emil.spisak@tuke.sk

<sup>18</sup> Ján Slota, Technical University of Košice, e-mail: jan.slota@tuke.sk

<sup>4</sup> Wiesław Frącz, Rzeszow University of Technology, e-mail: wf@prz.edu.pl

## THE FASTENERS PRESSING TECHNOLOGY IN THIN-WALLED STRUCTURES

Nowadays, in the thin-walled structures industry a dynamic development of the assembling technologies is observed. This development is caused by the ensuring of the manufacturing processes competitiveness. The mounting process, with the use of the constructional connections, is often the structure and quality construction last phase. The thin-walled fragments of the larger structures often have different tasks to satisfy. Sometimes, the performance of the structure requires the use of not only permanent joints but also use of the temporary fastening. The temporary fastening allows for easier positioning and for their removal during repairs or maintenance. This paper presents the importance of the pressed fasteners use in the thin-walled structures during the assembly processes. The typical fasteners structures and the selected special solutions were presented. The blind rivet nut basic solutions and their assembling technologies were described.

**Keywords:** fasteners, blind rivet nut pressing, sheets joining, thin-walled structures

## TECHNOLOGIA WTLACZANIA ELEMENTÓW ZŁĄCZNYCH W CIENKOŚCIENNYCH KONSTRUKCJACH

### Streszczenie

Obecnie w przemyśle cienkościennych konstrukcji trwa dynamiczny rozwój technologii montażu związanych z zapewnieniem konkurencyjności procesów wytwarzania. Montaż, w którym wykorzystuje się połączenia konstrukcyjne, jest często ostatnim etapem budowy jego struktury, formy i jakości użytkowej. Cienkościenne fragmenty większej konstrukcji mają często do spełnienia różne zadania. Niekiedy wykonanie całościowej konstrukcji wymaga zastosowania połączeń nie tylko nierozłącznych, ale i rozłącznych. Połączenia rozłączne pozwalają na łatwiejsze pozycjonowanie względne łączonych elementów, ale i ich demontaż podczas napraw czy serwisowania. W pracy przedstawiono znaczenie rozwiązań elementów złącznych przeznaczonych do osadzania w cienkościennych konstrukcjach podczas montażu. Zaprezentowano typowe konstrukcje elementów złącznych oraz wybrane rozwiązania specjalne. Scharakteryzowano podstawowe rozwiązania nitonakrętek oraz technologie ich montażu.

**Słowa kluczowe:** elementy złączne, osadzanie nitonakrętek, łączenie blach, cienkościenne konstrukcje

DOI: 10.7862/rm.2014.60

*Otrzymano/received: 15.09.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 20.11.2014 r.*

---

<sup>19</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Jacek Mucha, Rzeszow University of Technology, 8 Powstańców Warszawy Avenue, 35-959 Rzeszow, Poland, tel.: (17) 8651636, e-mail: j\_mucha@prz.edu.pl

## NUMERYCZNA ANALIZA PRZECIEKÓW OSIOWYCH W BEZOLEJOWEJ SPRĘŻARCE SPIRALNEJ W STANIE NIEUSTALONYM

W pracy zaprezentowano wyniki rozważań na temat przecieków osiowych oraz ich wpływu na przebieg procesu sprężania w bezolejowej maszynie spiralnej. Za pomocą metody objętości skończonej zaproponowano dwuwymiarowy model zjawisk ciepłno-przepływowych, uwzględniający warunki brzegowe w zmiennych polach prędkości, ciśnień i temperatur w komorach. Przedstawiono założenia obliczeń, wyniki, a także wnioski na temat wpływu przecieków na parametry termodynamiczne maszyny.

**Słowa kluczowe:** przecieki, sprężarka spiralna, modelowanie, maszyny rotacyjne

## TRANSIENT NUMERICAL ANALYSIS OF THE AXIAL LEAKAGE IN AN OIL-FREE SCROLL COMPRESSOR

### Summary

In the paper the results of consideration of an axial leakage phenomena and its influence on the compression process in an oil-free scroll compressor were presented. With the use of a finite volume method a two-dimensional heat-flow phenomena model was proposed. It takes into account the boundary conditions in transient velocity, pressure and temperature in the chambers. Computational assumptions, results and conclusions about leakage influence on thermodynamical parameters of machine were presented.

**Keywords:** CFD, leakage, scroll compressor, modeling, rotary machines

DOI: 10.7862/rm.2014.61

*Otrzymano/received: 20.07.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 22.11.2014 r.*

---

<sup>20</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Józef Rak, Politechnika Wrocławska, Plac Grunwaldzki 9, 50-370 Wrocław, tel.: (71) 3203091, e-mail: jozef.rak@pwr.edu.pl

<sup>21</sup> Zbigniew Gnutek, Politechnika Wrocławska, e-mail: zbigniew.gnutek@pwr.edu.pl

## THE PENETRATION OF THE SOUND FIELD OF THE SPHERICAL RADIATOR THROUGH THE PLANE ELASTIC LAYER

In this paper the results of exact solution of the axisymmetric problem of the penetration of the sound field through the plane elastic layer are presented. The spherical radiator is located in a thin unclosed spherical shell as the source of the acoustic field. Using appropriate theorems, the solution of the boundary conditions problem is reduced to solve dual functions in Legendre's polynomials, which are converted to the infinite system of linear algebraic equations of the second kind with a completely continuous operator. The influence of some parameters of the problem on the value of the coefficient of shielding sound field is investigated.

**Keywords:** elastic plate, sound field, spherical radiator

## PRZENIKANIE POLA AKUSTYCZNEGO PROMIENNIKA KULISTEGO PRZEZ PŁASKĄ WARSTWĘ SPRĘŻYSTĄ

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki dokładnych obliczeń osiowosymetrycznego problemu przenikania pola akustycznego przez płaską warstwę sprężystą. Kulisty promiennik jest umieszczony w cienkiej otwartej powłoce, będącej źródłem pola akustycznego. Wykorzystując odpowiednie twierdzenia, rozwiązanie problemu warunków brzegowych ograniczono do rozwiązania podwójnych funkcji w wielomianach Legendre'a, które są transponowane do skończonych liniowych równań algebraicznych drugiego rzędu z całkowicie ciągłym operatorem. Badano wpływ niektórych parametrów problemu na wartość współczynnika ekranowania pola akustycznego.

**Słowa kluczowe:** warstwa sprężysta, pole akustyczne, promiennik kulisty

DOI: 10.7862/rm.2014.62

*Otrzymano/received: 20.07.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 22.11.2014 r.*

---

<sup>22</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Gennadij Shushkevich, Yanka Kupala State University of Grodno, 22 Ozheshko St., 230023 Grodno, Belarus, e-mail: g\_shu@tut.by

<sup>23</sup> Svetlana Shushkevich, Yanka Kupala State University of Grodno, e-mail: spusha@list.ru

## ROZMYTE STEROWANIE BEHAWIORALNE MOBILNYM ROBOTEM KOŁOWYM W NIEZNANYM ŚRODOWISKU

W artykule zaprezentowano hierarchiczny układ sterowania ruchem mobilnego robota kołowego w nieznanym środowisku ze statycznymi przeszkodami. Układ sterowania składa się z generatora trajektorii realizującego sterowanie behawioralne

z zastosowaniem układów z logiką rozmytą oraz neuronowego algorytmu sterowania ruchem nadążnym, w którym zastosowano algorytm aproksymacyjnego programowania dynamicznego. W warstwie planowania trajektorii ruchu zrealizowano sterowanie behawioralne typu „podażaj do celu” oraz „omijaj przeszkody”. W prezentowanym hierarchicznym układzie sterowania sygnały sterowania warstwy planowania trajektorii są generowane przez dwa układy z logiką rozmytą, w których zastosowano model Takagi-Sugeno. W warstwie realizacji ruchu zastosowano algorytm aproksymacyjnego programowania dynamicznego w konfiguracji dualnego heurystycznego programowania dynamicznego, zbudowany z dwóch struktur: aktora i krytyka. Struktury aktora i krytyka zostały zrealizowane z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych. Poprawność zaproponowanych rozwiązań zweryfikowano numerycznie, stosując emulator mobilnego robota kołowego oraz laboratoryjnego toru pomiarowego, zrealizowane w środowisku obliczeniowym Matlab/Simulink.

**Słowa kluczowe:** aproksymacyjne programowanie dynamiczne, generator trajektorii, sieci neuronowe, sterowanie nadążne, układy z logiką rozmytą

## FUZZY BEHAVIOURAL CONTROL OF THE WHEELED MOBILE ROBOT IN THE UNKNOWN ENVIRONMENT

### Summary

In the article the hierarchical control system of the wheeled mobile robot movement in the unknown environment with static obstacles was presented. The control system consists of the trajectory generator that realises the behavioural control using fuzzy logic system, and the neural tracking control system in which approximate dynamic programming algorithm is implemented. In the planning layer of movement trajectory the behavioural control tasks of the „goal-seeking” type and the „obstacle avoiding” type were realised. In the presented hierarchical control system the control signals of the trajectory planning layer were generated using two fuzzy logic systems in which Takagi-Sugeno model was utilized. In the movement control layer the approximate dynamic programming algorithm in the dual heuristic dynamic programming configuration was applied. It consists of two structures: the actor and the critic. Both the actor and the critic structures were realised using artificial neural networks. Performance of the proposed control algorithm was verified numerically using emulator of the wheeled mobile robot and the laboratory measuring track in the Matlab/Simulink computational environment.

**Keywords:** approximate dynamic programming, trajectory generator, neural networks, tracking control, fuzzy logic systems

DOI: 10.7862/rm.2014.63

*Otrzymano/received: 26.06.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 15.11.2014 r.*

---

<sup>24</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Marcin Szuster, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel.: (17) 8651854, e-mail: mszuster@prz.edu.pl

## ANALYSIS OF THE DELAMINATION IN DRILLING OF PARTICLEBOARD

Particleboard is a wood based composite extensively used in wood working. Drilling is the most commonly used machining process in furniture industries. The surface characteristics and the damage free drilling are significantly influenced by the machining parameters. The thrust force developed during drilling plays a major role in gaining the surface quality and minimizing the delamination tendency. In this study eighteen durability tests of tools for different values of the analyzed cutting parameters were carried out. Based on the obtained results, the effect of cutting parameters of selected signals of axial force and cutting torque was found. Mathematical models using ANOVA, allowing to estimate the value of cutting forces was proposed.

**Keywords:** drilling, feed force, cutting torque, tool wear, laminated chipboard

## ANALIZA ROZWARSTWIANIA PŁYTY WIÓROWEJ PODCZAS WIERCENIA

### Streszczenie

Płyta wiórowa jest kompozytem, którego podstawowym składnikiem jest drewno. Ma szerokie zastosowanie w przemyśle. Proces wiercenia to najpopularniejszy proces obróbki stosowany w przemyśle meblarskim. Siła osiowa i moment skrawania występujące podczas procesu wiercenia odgrywają ważną rolę w uzyskaniu odpowiedniej jakości powierzchni. W przeprowadzonych badaniach wykonano osiemnaście prób trwałościowych narzędzia dla różnych wartości analizowanych parametrów skrawania. Na podstawie wyników uzyskanych z przeprowadzonych badań określono wpływ wybranych parametrów skrawania oraz zużycia narzędzia na wartość siły osiowej i momentu skrawania. Zaproponowano modele matematyczne, wykorzystując analizę wariancji ANOVA, pozwalające oszacować opory skrawania.

**Słowa kluczowe:** wiercenie, zużycie narzędzia, jakość powierzchni, płyta wiórowa laminowana

DOI: 10.7862/rm.2014.64

*Otrzymano/received: 26.09.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 15.11.2014 r.*

---

<sup>25</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Krzysztof Szwejka, Rzeszow University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics, 4 Kwiatkowskiego St., 37-450 Stalowa Wola, Poland, tel. (15) 8448912, e-mail: kszwejka@prz.edu.pl

Tomasz TRZEPIECIŃSKI<sup>26</sup>  
Feliks STACHOWICZ<sup>27</sup>  
Sergei BOSIAKOV<sup>28</sup>  
Sergei ROGOSIN<sup>29</sup>

## A 3D NUMERICAL MODELING OF HEMISPHERICAL CONTACT AGAINST AN ELASTIC-PLASTIC FLAT SURFACE

This paper presents a method of determining the anisotropic friction model for sheet metal forming processes based on experimental data obtained from the pin-on-disk tribometer test. The frictional investigations presented in this work were conducted for deep drawing quality cold-rolled steel sheet. The anisotropic friction model corresponded to experimental results was implemented into a finite element (FE) model built using the ABAQUS software. In the numerical investigations the hemispherical contact against an elastic-plastic flat was analysed. Both material and friction anisotropy influenced the non-uniformity of the stress distribution around the hemisphere axis, which is clearly visible for higher values of hemispherical solid indentations. It was found that the change of isotropic friction to anisotropic conditions for both material models slightly influences – the value and change of equivalent plastic strain distribution in contact zone.

**Keywords:** anisotropy, contact modeling, elastic-plastic contact, friction modeling, friction anisotropy

### ANALIZA NUMERYCZNA 3D KONTAKTU POWIERZCHNI PÓLKULISTEJ Z PŁASZCZYZNĄ SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNĄ

#### Streszczenie

Artykuł prezentuje metodę wyznaczania anizotropowego modelu tarcia dla procesów kształtowania blach na podstawie danych eksperymentalnych otrzymanych w próbie trobotestera o skojarzeniu trzpień na tarczy. Badania tarciove przedstawione w pracy wykonano dla zimnowalcowanych blach stalowych głęboko tłocznych. Anizotropowy model tarcia odpowiadający wynikom eksperymentalnym zaimplementowano do modelu elementów skończonych z wykorzystaniem programu ABAQUS. W badaniach numerycznych analizowano kontakt powierzchni półkulistej ze sprężysto-plastyczną powierzchnią płaską. Anizotropia materiału oraz tarcia wpływa na nierównomierność rozkładu naprężeń dookoła osi półkuli, co jest wyraźnie widoczne dla większych zagłębień bryły półkulistej. Zmiana modelu tarcia z izotropowego na anizotropowy nieznacznie wpływa na wartość i zmianę rozkładu naprężeń oraz odkształceń następujących w strefie kontaktu.

**Słowa kluczowe:** anizotropia, modelowanie kontaktu, kontakt sprężysto-plastyczny, modelowanie tarcia, anizotropia tarcia

DOI: 10.7862/rm.2014.65

Otrzymano/received: 10.10.2014 r.

Zaakceptowano/accepted: 22.11.2014 r.

---

<sup>26</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Tomasz Trzepieciński, Rzeszow University of Technology, 8 Powstańców Warszawy Avenue, 35-959 Rzeszow, Poland, tel.: (17) 8651714, e-mail: tomtrz@prz.edu.pl

<sup>27</sup> Feliks Stachowicz, Rzeszow University of Technology, e-mail: stafel@prz.edu.pl

<sup>28</sup> Sergei Bosiakov, Belarusian State University, e-mail: bosiakov@bsu.by

<sup>29</sup> Sergei Rogosin, Belarusian State University, e-mail: Rogosin@bsu.by

Pavel S. VOLEGOV<sup>30</sup>  
Peter V. TRUSOV<sup>31</sup>  
Dmitry S. GRIBOV<sup>32</sup>  
Alexey I. SHVEYKIN<sup>33</sup>

## HARDENING LAWS IN MULTILEVEL CRYSTAL PLASTICITY MODELS AND MACRO EFFECTS OF COMPLEX CYCLIC LOADING

The problem of constructing a physically based hardening laws of mono- and polycrystalline samples in multi-level theories using crystal plasticity is considered, these hardening laws should allow describing the process of the defect structure evolution of the material due to the intensive inelastic deformations. It is also should be applicable to the description of complex and cyclic loading. An approach to the construction of a general and a particular form of hardening law is proposed, which takes into account the interaction of full and split dislocations with each other, forming and destruction of dislocation barriers, annihilation of dislocations during reverse loading and the interaction of intragranular and grain boundary dislocations. Using the obtained hardening law, the known experimental effects of complex and cyclic loading are described.

**Keywords:** multilevel models, crystal plasticity, hardening, complex loading, cycle loading, damage accumulation.

## PRAWA UMOCNIEŃIA W MODELACH WIELOPOZIOMOWYCH PLASTYCZNOŚCI KRYS- TALICZNEJ ORAZ SKUTKI W SKALI MAKRO ZŁOŻONEGO OBCIĄŻENIA CYKLICZNEGO

### Streszczenie

W artykule przedstawiono problem budowy fizycznie uzasadnionych praw umocnienia próbek mono- i polikrystalicznych w wielowymiarowych teoriach plastyczności krystalicznej. Rozważane prawa umocnienia powinny pozwalać na opis procesu rozwoju struktury uszkodzenia materiału spowodowanej intensywnymi odkształceniami niesprężystymi. Powinny również umożliwiać na opis złożonych i cyklicznych obciążeń. Zaproponowano podejście do budowy ogólnej i szczegółowej postaci prawa umocnienia, które uwzględni wzajemne oddziaływanie dyslokacji pełnych i wieloczęściowych, kształtowanie i niszczenie barier dyslokacyjnych, anihilację dyslokacji podczas procesu przeciwnego obciążania, oddziaływanie dyslokacji wewnątrzziarnowych oraz występujących na granicach ziarn. Wykorzystując otrzymane prawa umocnienia, określono znane skutki eksperymentalne złożonego i cyklicznego obciążania.

**Słowa kluczowe:** modele wielopoziomowe, plastyczność krystaliczna, obciążanie złożone, obciążenie cykliczne, akumulacja zniszczenia

DOI: 10.7862/rm.2014.66

*Otrzymano/received: 20.07.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 22.11.2014 r.*

---

<sup>30</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Pavel S. Volegov, Perm National Research Polytechnic University, 29 Komso-  
molsky Avenue, Perm, Russia, tel. (+7 342) 2198562, e-mail: crocinc@mail.ru

<sup>31</sup> Peter V. Trusov, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: tpv@mat-mod.pstu.ac.ru

<sup>32</sup> Dmitry S. Gribov, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: gribowdmi-trii@yandex.ru

<sup>33</sup> Alexey I. Shveykin, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: alexsh59@bk.ru



## CLINCHING JOINT FORMING SPEED IMPACT ON THE JOINTS STRENGTH

This publication presents the impact of the forming speed of clinching joints on the static strength of a joint for DX51D + Z275 sheet material. For the chosen parameters of joined sheet materials (total sheet thickness 2 mm) the geometry of forming tools, such as punch and die diameters (and radial clearance between the tools), the die depth and the parameter X (the minimum thickness of the joint embossment) were selected. The speed of joint formation (punch movement) was 3, 50 and 100 mm·s<sup>-1</sup>. To reduce the samples deformation during the tensile test the special apparatus was used. The mean values of forming parameters e.g., standard deviation and coefficient of variance of both forming and tearing forces were calculated. According to the ISO 12996-2013 standard the main strength structure parameters of clinching joints were determined.

**Keywords:** ISO 12996-2013, parameters of the joining technology, clinching

## WPLYW PRĘDKOŚCI FORMOWANIA ZŁĄCZA TYPU CLINCHING NA WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ

### Streszczenie

W publikacji przedstawiono wpływ prędkości formowania złączy przetłoczeniowych typu clinching na wytrzymałość statyczną dla materiału blach DX51D + Z275. Dla ustalonych parametrów łączonych blach (grubość całkowita 2 mm) dobrano geometrię narzędzi formujących: średnice stempla i matrycy (luz promieniowy), głębokość dna w wykroju matrycy, parametr X (minimalna grubość przetłoczenia złącza). Prędkość formowania złącza (ruch roboczy stempla) wynosiła: 3, 50 i 100 mm·s<sup>-1</sup>. W celu ograniczenia deformowania się pasm blach w testach wytrzymałościowych wykorzystano specjalnie zaprojektowany uchwyt. Wyznaczono wartości średnie sił formowania, sił rozrywających złącze, odchylenia standardowe oraz współczynniki zmienności. Zgodnie z normą ISO 12996-2013 określono główne parametry struktury wytrzymałościowej złączy przetłoczeniowych.

**Słowa kluczowe:** ISO 12996-2013, parametry technologiczne, clinching

DOI: 10.7862/rm.2014.67

*Otrzymano/received: 24.06.2014 r.*

*Zaakceptowano/accepted: 22.10.2014 r.*

---

<sup>34</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Waldemar Witkowski, Rzeszow University of Technology, 8 Powstańców Warszawy Avenue, 35-959 Rzeszow, Poland, tel.: (17) 8651643, e-mail: wwitkowski@prz.edu.pl