Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym
Modern material technologies in aerospace industry

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO

KONFERENCJA RADY PARTNERÓW CZT AERONET i KONFERENCJA ROCZNA
8 - 9 Grudnia 2014

ZB 8

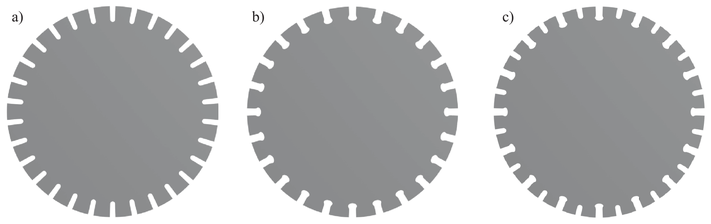
Plastyczne kształtowanie lotniczych stopów Al (w tym Al - Li) oraz Ti
Plastic forming of aeronautical Al (including Al-Li) and Tl alloys

Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Warszawska, Politechnika Częstochowska

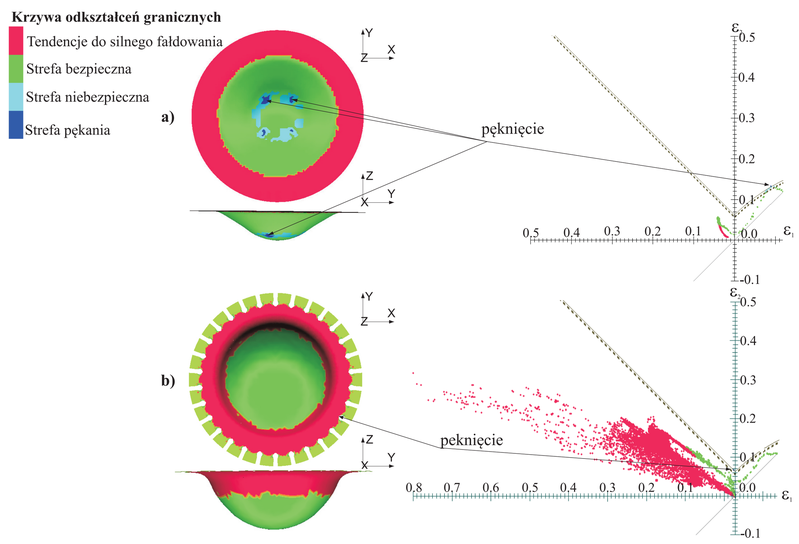
Wyniki badań
Results

Tłoczenie tytanowych czasz kulistych z wykrojów okrągłych z wycięciami na obrzeżu
Forming spherical titanium caps from circular blanks with cutouts in perimeter

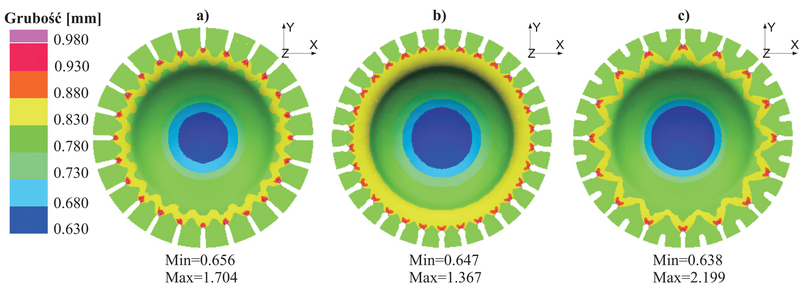
Cel: Celem pracy jest opracowanie geometrii wykrojki do tłoczenia na zimno czaszy kulistej z materiału trudnoodkształcalnego, tj. blachy tytanowej Grade 5 o grubości 0.8 mm. Założono, że czasza będzie kształtowana przy użyciu klasycznego, stalowego narzędzia, składającego się ze stempla, matrycy i dociskacza. Zaprojektowano wykrojki z wycięciami równomiernie rozmieszczonymi na obwodzie. Zastosowane wycięcia mają zmniejszyć opory kształtowania, występujące podczas tłoczenia wytłoczek z pełnych wykrojek. W celu wyboru optymalnej geometrii wykrojki, pod względem ilości i kształtu wycięć, przeprowadzono szereg symulacji numerycznych za pomocą programu PamStamp 2G. Program ten bazuje na metodzie elementów skończonych i jest specjalnie dedykowany procesom kształtowania blach. Wyniki analiz numerycznych potwierdzono w badaniach eksperymentalnych.
Goal: The aim of the study was to determine the shape of the blank for cold-forming spherical caps made of hard-deformed materials such as titanium sheets Grade 5 with thickness of 0.8 mm. It was assumed that the cap will be formed using a conventional steel tool comprised of a punch, die and blank holder. The blanks were designed with cutouts equally distributed around the perimeter. Application of the cutouts was supposed to reduce forming resistance which occurs during forming of drawn parts from full blanks. A series of numerical simulations were carried out using PamStamp 2G software in order to select optimal geometry of the blank in terms of quantity and shape of the cutouts. The software is based on the finite element method and is dedicated to sheet metal forming processes. The results of numerical analyses were supported by experimental tests.



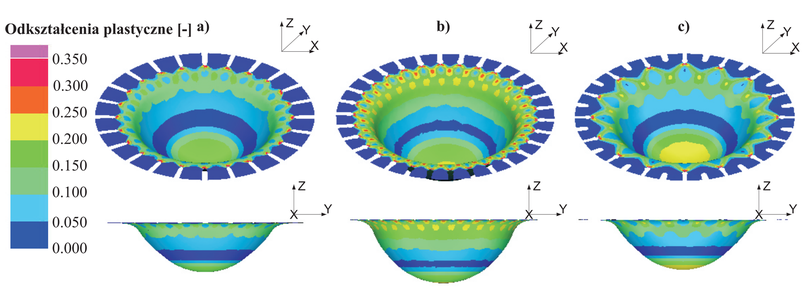
Rozmieszczenie wycięć w wykrojkach: a) wykrojka A, b) wykrojka B, c) wykrojka C
Distribution of cutouts in blanks: a) blank A, b) blank B, c) blank C



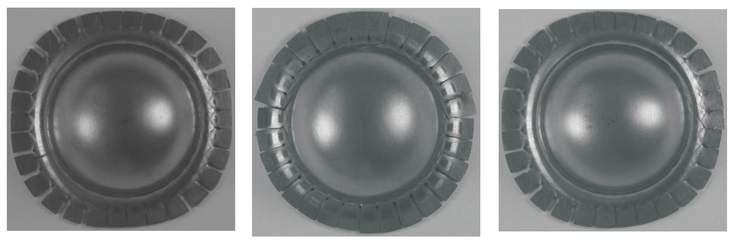
Porównanie odkształceń w wytłoczce z krzywą odkształceń granicznych a) pełny krążek, b) wykrojka B z 30 wycięciami
Comparison of strain in the drawn part with forming limit curve: a) blank with no cutouts, b) blank B with 30 cutouts



Rozkład grubości ścianek wytłoczki dla: a) wykrojki A z dwudziestoma czterema wycięciami, b) wykrojki B z trzydziestoma wycięciami i c) wykrojki C z trzydziestoma dwoma wycięciami
Distribution of drawn part wall thickness for: (a) blank A with twenty four cutouts, (b) blank B with thirty cutouts, (c) blank C with thirty two cutouts



Rozkład odkształceń plastycznych w wybranych wytłoczkach: a) wykrojka A z dwudziestoma czterema wycięciami, b) wykrojka B z trzydziestoma wycięciami i c) wykrojka C z trzydziestoma dwoma wycięciami
Distribution of plastic strain in selected drawn parts: (a) blank A with twenty four cutouts, (b) blank B with thirty cutouts, (c) blank C with thirty two cutouts



Rezultaty tłoczenia wykrojki B z trzydziestoma wycięciami
Results of forming for blank B with thirty cutouts

Wnioski
Conclusions

Przeprowadzone analizy numeryczne i badania eksperymentalne udowodniły możliwość otrzymania pełnej czaszy z blachy z trudno odkształcalnego stopu tytanu Grade 5 przy użyciu klasycznych narzędzi do tłoczenia na zimno, po zastosowaniu materiału wyjściowego w postaci okrągłych wykrojek z wycięciami na obrzeżu. Zastosowanie wycięć powoduje zwiększenie głębokości tłoczenia o co najmniej 30%. Istotny wpływ na rezultaty tłoczenia ma zastosowana geometria i ilość wycięć. W przypadku analizowanej czaszy kulistej największe głębokości tłoczenia otrzymywano stosując co najmniej 24 wycięcia. Z uwagi na fakt, że wycięcia mimo wszystko mogą generować powstawanie karbów inicjujących pęknięcia w obszarze ich występowania, wycięcia te powinny mieć głębokość mniejszą od założonej szerokości kołnierza wytłoczki i powinny być zakończone eliptycznie.

Numerical analyses and experimental tests demonstrated opportunities for obtaining a full spherical cap from hard-deformed sheet metal (titanium Grade 5) using conventional tools for cold forming and initial material in the form of circular blanks with cutouts on the perimeter. The cutouts cause the increased forming depth by at least 30%. The essential effect on forming results is from geometry and number of cutouts. In the case of the spherical cap, the greatest forming depths were obtained for at least 24 cutouts. Due to the fact that the cutouts might generate notches that initiate cracking in the area where they are cut, the cutouts should have the depth lower than the expected width of the flange in the drawn part and should be ended elliptically.

Wyniki badań
Results

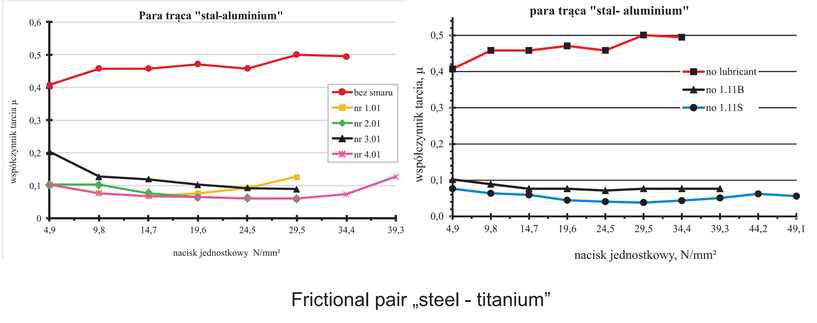
Ocena właściwości smarów technologicznych na bazie olejów roślinnych
Evaluation of technological lubricants based on vegetable oils

Cel: Określenie właściwości fizykochemicznych smarów technologicznych na bazie olejów roślinnych oraz wyznaczenie współczynnika tarcia analizowanych par trących w obecności badanych smarów.

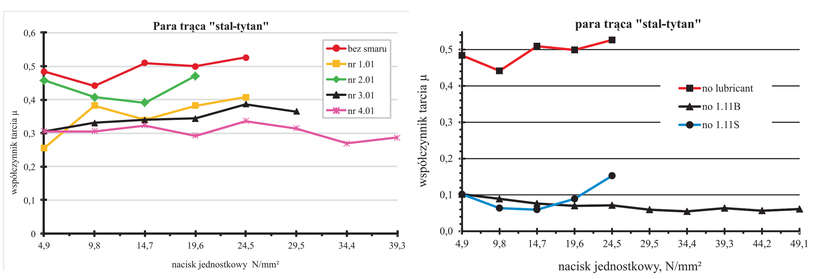
Goal: Determination of phisical and chemical properties of technological lubricants based on vegetable oils and determination of friction coefficient for the analysed frictional pairs in presence of the tested lubricants.

Wśród właściwości fizykochemicznych wyznaczono gęstość i lepkość smarów oraz zdolność do zwilżania powierzchni. Współczynniki tarcia wyznaczono w próbie przeciągania pasa blachy pomiędzy płaskimi matrycami. Próby prowadzono w temperaturze otoczenia z użyciem smarów na bazie olejów roślinnych oraz w warunkach tarcia technicznie suchego. Współczynniki tarcia wyznaczono dla następujących par trących: „stal - aluminium (2024)", „stal - stal (ASM 5604)", „stal - tytan (Grade 2)". Materiał narzędzia: stal narzędziowa NC10, twardość: 60HRC.
Density and viscosity of the analysed lubricants, and also their ability to wet the tool surface were determined among the physical and chemical properties. The friction coefficients were determined in the strip drawing test between the flat dies. The tests were conducted at ambient temperature using ubricants based on vegetable oils and dry friction conditions. The friction coefficients were determined for the following frictional pairs: "steel - aluminium (2024)", "steel - steel (ASM 5604)", "steel - titanium (Grade 2)". Tool material: tool steel NC10, hardness: 60HRC.

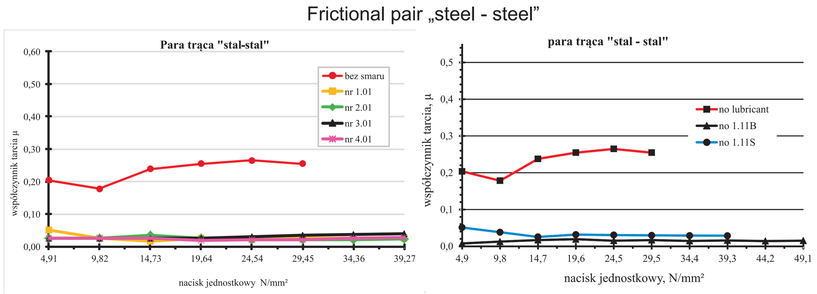
Frictional pair „steel - aluminium"



Frictional pair „steel - titanium"



Frictional pair „steel - steel"

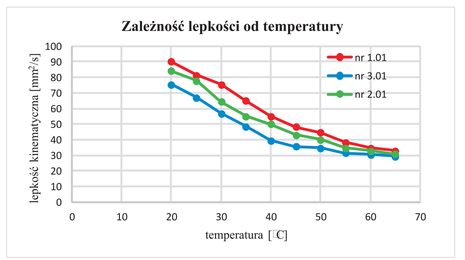


Współczynniki tarcia dla badanych par trących w warunkach tarcia technicznie suchego (bez smaru) oraz w obecności smarów technologicznych
Friction coefficient for the analysed frictional pairs in dry conditions (with no lubricant) and in presence of technological lubricants

Współczynniki tarcia dla badanych par trących w obecności smarów na bazie olejów roślinnych: 1.11B z dodatkiem kwasu borowego i 1.11S z dodatkiem kwasu stearynowego
Friction coefficients for the analysed frictional pairs in presence of technological lubricants based on vegetable oils with additives of boric acid - 1.11B and stearic acid - 1.11S

Tabela 1. Gęstość olejów bazowych
Table 1. Density of basic oils

Olej bazowy	Gęstość [kg/m³]
nr 1.01 (roślinny)	911,50
nr 2.01 (roślinny)	908,56
nr 3.01 (roślinny)	915,70
nr 4.01(na bazie oleju mineralnego)	888,87



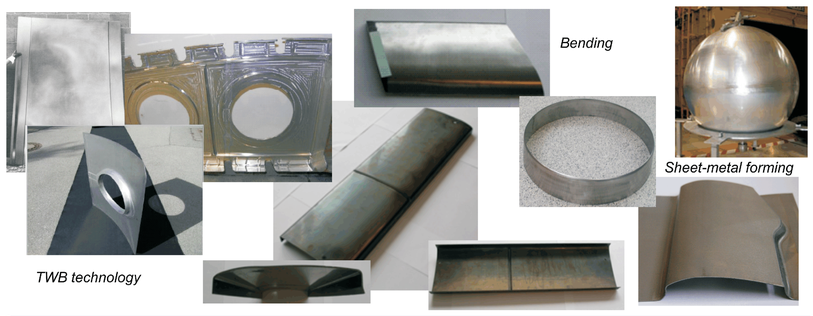
Lepkość roślinnych olejów bazowych w zakresie temperatur 20÷65°C
Viscosity of basic vegetable oils in temperature range: 20÷65°C

Wnioski
Conclusions

Smary technologiczne na bazie olejów roślinnych skutecznie obniżają współczynnik tarcia w trakcie próby przeciągania pasów analizowanych blach przez płaskie matryce, a mianowicie:
- w przypadku pary trącej „stal – aluminium" najlepsze wyniki zaobserwowano podczas stosowania kwasu borowego jako dodatku uszlachetniającego do oleju słonecznikowego, współczynnik tarcia uległ zmniejszeniu z wartości μ=0,46 do μ=0,051
- dla pary trącej „stal-tytan" średni współczynnik tarcia zmniejszył się z μ=0,49 dla tarcia technicznie suchego do μ=0,07 w obecności oleju rzepakowego z dodatkiem kwasu borowego
- w przypadku pary trącej „stal – stal" skutecznym dodatkiem do olejów bazowych roślinnych jest dodatek kwasu borowego, zwłaszcza jako dodatek do oliwy z oliwek obniża on współczynnik tarcia z μ=0,23 dla tarcia technicznie suchego do μ=0,022 przy zastosowaniu smaru.

Technological lubricants based on vegetable oils effectively decrease the friction coefficient during the strip drawing test for the analyzed sheets, namely:
- in the case of the frictional pair "steel - aluminium" the best results were observed when sunflower oil with an additive of boric acid was applied - the friction coefficient decreased from the value of μ=0.46 to μ=0.051
- in the case of the frictional pair "steel-titanium" the average friction coefficient decreased from μ=0.49 for dry conditions to μ=0.07 in the presence of rapeseed oil with the additive of boric acid
- in the case of the frictional pair "steel - steel" boric acid appeared the effective additive to base oil, especially as additive to olive oil reducing the friction coefficient from μ=0.23 for dry friction to μ=0.02 for lubrication.

Przykłady zastosowania w lotnictwie
Examples of application in aviation



Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym
Collaboration with aviation industry

W zakresie realizowanych badań zespół PCz. współpracuje z podmiotami przemysłowymi:

- **WSK "PZL-RZESZÓW" S. A.** Opracowanie technologii tłoczenia na zimno części ze stopów Ti stosowanych na elementy kadłuba nośnego silnika lotniczego. Modelowanie numeryczne procesu tłoczenia blach, analiza numeryczna obejmuje wpływ siły docisku, warunków tarcia, rodzaju materiału itp.
- **Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego "PZL-Świdnik" S.A.** Kształtowanie na zimno elementów ze stopów tytanu.

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Referaty

1. Adamus J., Dyja K., Motyka M.:***Determination of Forming Limit Diagram using Finite Element Method***, 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), 20-25.VII.2014, Barcelona, Spain
2. Dyja K., Adamus J.: ***Badania nad doborem smarów technologicznych do tłoczenia blach aluminiowych i tytanowych***, XXXIII Jesienna Szkoła Tribologiczna,15-18.IX.2014, Rzeszów - Baranów Sandomierski
3. Adamus J., Lacki P.: ***Numerical simulation of forming titanium drawn-part***, 24th International Workshop on Computational Mechanics of Materials - IWCMM 24, 1-3.X.2014, Madryt, Spain
4. Dyja K., Więckowski W.: ***Wpływ tarcia na proces tłoczenia blach stosowanych w lotnictwie***, IX Seminarium Naukowe ZINTEGROWANE STUDIA PODSTAW DEFORMACJI PLASTYCZNEJ METALI PLASTMET' 2014, 25-28 listopada 2014, Łańcut Zamek
5. Lacki P., Adamus J., Więckowski W., Winowiecka J.: ***Tłoczenie blach tytanowych z wykrojem ażurowym***, IX Seminarium Naukowe ZINTEGROWANE STUDIA PODSTAW DEFORMACJI PLASTYCZNEJ METALI PLASTMET' 2014, 25-28 listopada 2014, Łańcut Zamek

Publikacje

1. Dyja K., Adamus J.: ***Badania nad doborem smarów technologicznych do tłoczenia blach aluminiowych i tytanowych***, Tribologia, 3/2014, str. 19-28
2. Adamus J., Dyja K., Więckowski W.: ***Wpływ warunków tarcia na rozkład odkształceń podczas tłoczenia wybranych elementów,*** Obróbka Plastyczna Metali Vol. XXV Nr 4 (2014) - w druku

Prace mgr, dr, hab.

Prace doktorskie

Tytuł: ***Analiza zagadnień występujących w procesach tłoczenia blach stosowanych w przemyśle lotniczym.***
Autor: **Julita Winowiecka**
Promotor: **dr hab. inż. Piotr Lacki, prof. Pcz**
Status: w trakcie realizacji (w recenzji)

Tutuł: ***Tribologiczne aspekty kształtowania blach stosowanych w przemyśle lotniczym.***
Autor: **Katarzyna Dyja**
Promotor: **dr hab. inż. Janina Adamus, prof. Pcz**
Status: w trakcie realizacji

Zgłoszenia patentowe

1. Zgłoszenie patentowe PAT-24/21/10/14: Sposób nanoszenia smaru na powierzchnię arkusza blachy z materiału trudnoodkształcalnego przed operacją tłoczenia na zimno, P.409887, Dyja K., Adamus J., Więckowski W., Podlewski J.

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO