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 PANELE EKSPERTÓW
9 - 10 Grudnia 2013

ZB 8

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

Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Instytut Lotnictwa w Warszawie

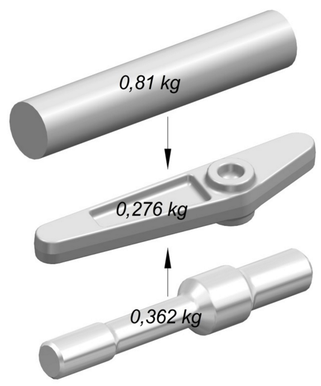
Wyniki badań
Research results

Walcowanie wzdłużne przedkuwek do kucia dźwigni ze stopu aluminium
Roll-forging of preforms for aluminum alloy lever forging

Zadanie jest kontynuacją badań w zakresie opracowania efektywnej technologii kucia odkuwki dźwigni ze stopu aluminium. Na podstawie wykonanych wcześniej badań doświadczalnych stwierdzono, że możliwe jest wykonanie tej części metodą kucia z pręta. Pomimo uzyskania wyrobu o dobrej jakości, taka metoda kucia charakteryzuje się dużą materiałochłonnością. Opracowano zatem przedkuwkę do kucia odkuwki dźwigni i zaprojektowano proces jej wykonania metodą walcowania wzdłużnego. Wykonano narzędzia i przeprowadzono próby doświadczalne walcowania (rys.1). Uzyskano pozytywne wyniki badań – odwalcowano przedkuwki bez pęknięć z zadowalającą jakością wymiarową (rys.3). Na rysunku 4 przedstawiono odkuwkę wykonaną z pręta oraz z przedkuwki. Można zauważyć, że w tym drugim przypadku powierzchnia wypływki jest mniejsza i jest ona równomiernie rozłożona na obwodzie odkuwki (proces jest bezpieczniejszy w aspekcie prawidłowego wypełnienia wykroju). Zastosowanie przedkuwki wpływa na znaczące zmniejszenie strat materiału (rys.2).

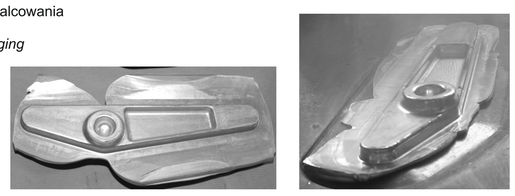
The task continues research on development of the effective forging technology to produce lever from aluminum alloy. It was found out in previous experiments that it is possible to forge the lever of a good quality from a bar. However, a considerable material usage was noticed. Therefore, specific tools were made and roll-forging experiments were performed (Fig.1). The results were positive - the roll-forged preforms exhibited no fractures and a good dimensional accuracy (Fig.3). Forgings made both from a piece of the bar and the roll-formed preform are presented in Fig.4. In the latter case the flash is smaller and distributed more uniform around the forging (the process is safer, considering correct die filling). Figure 2 shows that using roll-formed preforms as forging stock significantly decreases the material consumption.

Rys.1. Przebieg prób doświadczalnych walcowania przedkuwek
Fig.1. Experimental trials of roll-forging of preforms



Rys.2. Porównanie zużycia materiału w procesie kucia odkuwki dźwigni przy zastosowaniu wsadu w postaci pręta oraz przedkuwki
Fig.2. Comparison of material consumption during forging of a lever from a piece of the bar and a roll-forged preform

Rys.3. Przykładowa przedkuwka
Fig.3. An exemplary preform

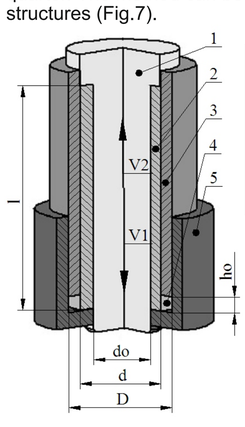


Rys.4. Odkuwka dźwigni wykonana z pręta (po lewej) i przedkuwki (po prawej)
Fig.4. A lever forging made from a bar (left) and a preform (right)

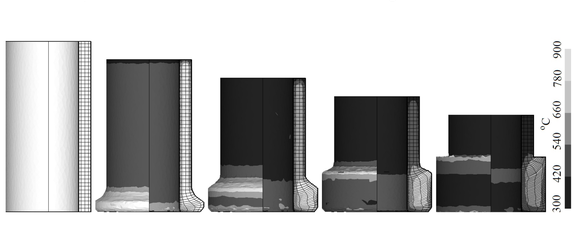
Nowy sposób kształtowania odkuwek drążonych
A new method for hollow forgings production

W ramach zadania opracowano kilka nowych procesów plastycznego kształtowania stopniowanych wyrobów drążonych. W celu objęcia ochroną nowych rozwiązań, dokonano zgłoszeń patentowych. Jedną z opracowanych metod przedstawiono na rys.5. Polega ona na wyciskaniu wsadu w postaci rury poprzez nacisk stempla z prędkością *v1*, z zastosowaniem ruchomej tulei poruszającej się w kierunku przeciwnym do ruchu stempla z prędkością *v2*. Zastosowanie ruchomej tulei zapobiega wyboczeniu półfabrykatu, dzięki czemu można uzyskiwać większe zgrubienia zewnętrzne niż w innych metodach. Wyniki analizy teoretycznej potwierdziły skuteczność nowej metody (rys.6). Obecnie wykonywane są narzędzia i w najbliższym kwartale planuje się wykonanie badań doświadczalnych. Metoda może być wykorzystana np. do produkcji drążonych wałów z kołnierzami stosowanych w budowie maszyn latających (rys.7).

There have been several new forming methods developed within the task for production of stepped hollow parts. Patent applications have been prepared in order to protect these original solutions. One of the methods is presented in Fig.5 as an example. It consists in extrusion of a hollow workpiece by pressing a punch that travels with velocity *v1*, while a sleeve moves in the opposite direction with velocity *v2*. Application of the movable sleeve prevents workpiece buckling, therefore larger external bosses can be obtained in comparison with other methods. Numerical analysis has proved the effectiveness of the proposed method (Fig.6). Currently, tooling is being prepared and experiments are planned in the nearest quarter. The method can be used for production of hollow shafts with flanges for aircraft structures (Fig.7).



Rys.5. Schemat przyrządu do wyciskania kołnierza, 1 - stempel, 2 - wsad, 3 - tuleja ruchoma, 4 - komora, 5 - pojemnik
Fig.5. A schematic representation of a device for flange extrusion, 1 - punch, 2 - workpiece, 3 - movable sleeve, 4 -chamber, 5 - container



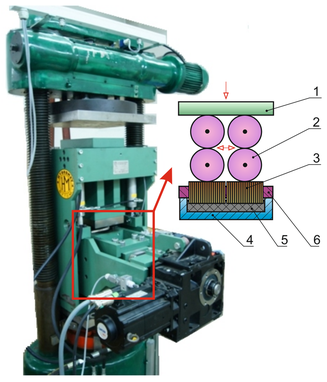
Rys.6. Progresja kształtu kołnierza z rozkładem temperatury i siatką koordynacyjną dla 0, 25, 50, 75 i 100 % realizacji procesu
Fig.6. Flange shape progression, temperature distribution and mesh for 0, 25, 50, 75 and 100% of the process completion

Rys.7. Wały drążone przeniesienia napędu stosowane w budowie śmigłowca
Fig.7. Hollow drive shafts used in helicopter structures

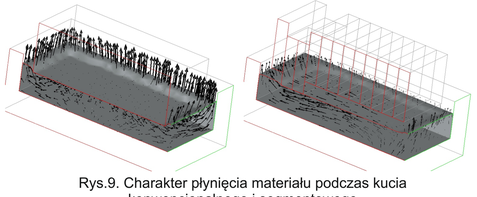
Kształtowanie segmentowe elementów integralnych
Incremental forming of integral panels

Istotą metody jest zastosowanie podczas kucia stempli podzielonych na segmenty, które są dociskane toczącymi się rolkami, dzięki czemu chwilowy nacisk jest przekazywany na niewielkie fragmenty powierzchni kształtowanego materiału (rys.8). Metoda pozwala na wytwarzanie elementów użebrowanych, o dużej powierzchni w stosunku do grubości, np. części konstrukcyjnych samolotu w postaci elementów integralnych. Korzyści płynące z zastosowania tej metody to wielokrotne zmniejszenie wymaganych nacisków prasy, bardziej równomierne odkształcenie materiału (rys.9), znaczne zmniejszenie strat materiałowych w porównaniu z obróbką skrawaniem, zachowanie ciągłości włókien (rys.10), przetwarzanie materiałów trudnoodkształcalnych.

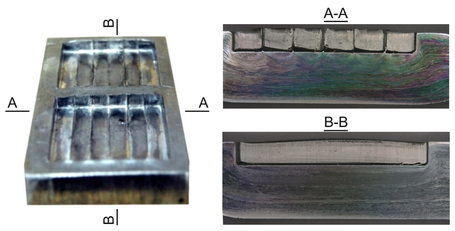
The method consists in application of segmented punches during forging. The segments are pressed down by moving rolls causing temporary load exertion only on a small fragment of the workpiece surface (Fig.8). It can be applied to produce ribbed parts with high surface/thickness ratio, e.g. integral panels in aicraft structures. The method offers a number of benefits, such as significant reduction of press load, more uniform material deformation (Fig.9), significant reduction of material consumption in comparison to machining, preserving of favourable grain structure (Fig.10), processing of hard-to-form materials.



Rys.8. Przyrząd do kształtowania segmentowego: 1 - płyta dociskowa, 2 - rolki robocze, 3 - stempel segmentowy, 4 - matryca, 5 - odkształcany materiał, 6 - oprawa stempla
Fig.8. A device for incremental forming 1 - pressure plate, 2 - working rolls, 3 - segmental punch, 4 - die, 5 - workpiece, 6 - punch retainer



Rys.9. Charakter płynięcia materiału podczas kucia konwencjonalnego i segmentowego
Fig.9. Material flow during conventional and incremental forging



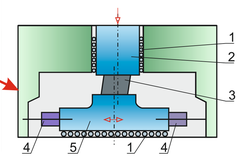
Rys.10. Przebieg włókien w aluminiowej odkuwce na przekroju zgodnym z kierunkiem ruchu rolki roboczej (A-A) i przekroju poprzecznym (B-B)
Fig.10. Grain structure in aluminum forging on the compliant (A-A) and transverse (B-B) section to the direction of a working roll motion

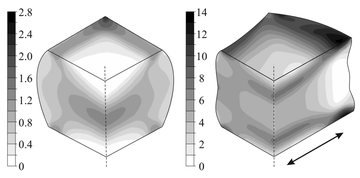
Kucie wspomagane oddziaływaniem naprężeń ścinających
Forging aided by shear stress

Wprowadzenie cyklicznego, poprzecznego ruchu stempla podczas kucia (rys.11) wymusza zmianę drogi odkształcenia w objętości kształtowanego materiału, co skutkuje uzyskaniem znacznie większych odkształceń lokalnych (rys.12) i mniejszych nacisków niż w przypadku kucia konwencjonalnego. Metoda ta pozwala na wykonywanie przedkuwek do kucia matrycowego metodą konwencjonalną lub nawet odkuwek matrycowych o skomplikowanych kształtach, charakteryzujących się bardzo dużym stopniem przerobu plastycznego.

Transverse motion of the punch during forging (Fig.11) induces cyclic strain path change in a workpiece volume. As a result, significant increase of local strains (Fig.12) and lower forces can be achieved in comparison with conventional forging. This method can be used to prepare preforms for conventional-die forging or even to produce forgings of comlex shape with severe plastic deformation effect.

Rys.11. Przyrząd do kucia wspomaganego naprężeniami ścinającymi: 1 - prowadnice toczne, 2 - stempel górny, 3 - próbka, 4 - cylindry hydrauliczne, 5 - stempel dolny
Fig.11. A device for forging aided by shear stress: 1 - float guides, 2 - upper punch, 3 - sample, 4 - hydraulic cylinders, 5 - lower punch



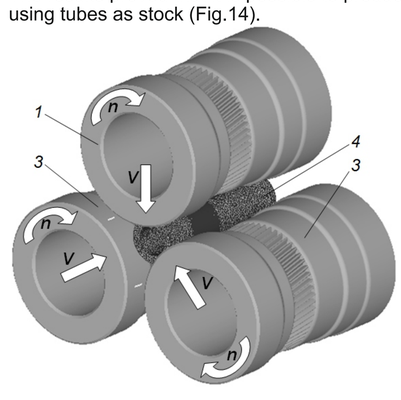


Rys.12. Porównanie rozkładów odkształcenia w odkuwce po kuciu konwencjonalnym (po lewej) i wspomaganym naprężeniami ścinającymi (po prawej) - strzałka wskazuje kierunek poprzecznego ruchu stempla
Fig.12. Comparison of strain distributions in a workpiece after conventional forging (left) and forging aided by shear stress (right) - direction of transverse punch motion is indicated by the arrow

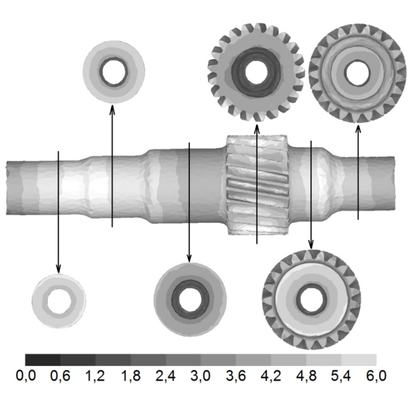
Obciskanie obrotowe drążonej odkuwki wałka z wieńcem zębatym
Rotary compression of toothed hollow shaft

Przeprowadzono analizę numeryczną procesu obciskania obrotowego drążonej odkuwki wałka stopniowanego z wieńcem zębatym ze stopu tytanu Ti6Al4V (rys.13). Analizie poddano geometrię obciskanych odkuwek, kinematykę płynięcia metalu, rozkłady intensywności odkształceń, naprężeń, temperatur, kryterium zniszczenia oraz parametrów siłowych procesu. Rezultaty badań numerycznych potwierdziły możliwość wytwarzania tego typu odkuwek ze wsadów w kształcie rur metodą obciskania obrotowego (rys.14).

A numerical analysis was performed in order to study a geometric features, metal flow, strain, stress and temperature distributions, fracture prediction and forming loads during rotary compression of toothed, stepped and hollow shaft made of Ti6Al4V titanium alloy (Fig.13). The results proved that it is possible to produce such kind of parts by the proposed method, using tubes as stock (Fig.14).



Rys.13. Model geometryczny obciskania obrotowego odkuwki drążonego wałka z wieńcem uzębionym
Fig.13. Geometric model of rotary compression of toothed hollow shaft



Rys.14. Rozkłady intensywności odkształcenia na przekrojach poprzecznych wałka drążonego
Fig.14. Distributions of the effective strain on the cross sections of a hollow shaft

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym
Collaboration with aviation industry

Zakład Obróbki Plastycznej Sp. z o.o. w Świdniku

Kucie wybranych odkuwek części dla przemysłu lotniczego ze stopów tytanu i aluminium.
Forging of selected titanium and aluminium alloy parts for the aerospace industry.

PZL Mielec i Instytut Lotnictwa w Warszawie

Ustalenie części samolotów i helikopterów, które mogą być wykonywane w procesach segmentowego kształtowania plastycznego.
Selection of the aircraft parts which can be produced by incremental forming.

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Zgłoszenia patentowe / Patent applications

1. Winiarski G., Gontarz A.: ***Sposób wyciskania wewnętrznych stopni wałków drążonych***. P.404611 z dnia 09.07.2013.
2. Winiarski G., Gontarz A.: ***Sposób wyciskania zewnętrznych i wewnętrznych stopni wałków drążonych.*** P.404612 z dnia 09.07.2013.
3. Winiarski G., Gontarz A.: ***Sposób wyciskania zewnętrznego kołnierza.*** P.404613 z dnia 09.07.2013.
4. Winiarski G., Gontarz A.: ***Sposób wyciskania zewnętrznego i wewnętrznego kołnierza.*** P.404614 z dnia 09.07.2013.
5. Winiarski G., Gontarz A.: ***Sposób wyciskania wewnętrznego kołnierza.*** P.404615 z dnia 09.07.2013.
6. Winiarski G., Gontarz A.: ***Sposób wyciskania zewnętrznych stopni wałków drążonych.*** P.404616 z dnia 09.07.2013.

Patenty krajowe / National patents

1. Tomczak J., Pater Z.: ***Urządzenie do obciskania obrotowego wyrobów drążonych.*** Numer decyzji: DP/P.392274/9/kwal. Decyzja wydana 07.08.2013.
2. Pater Z., Tomczak J.: ***Sposób obciskania obrotowego wyrobów drążonych metodą walcowania poprzecznego.*** Numer decyzji: DP/P.392275/10/kwal. Decyzja wydana 07.08.2013.
3. Pater Z., Tomczak J.: ***Sposób kształtowania plastycznego wałków z wieńcami zębatymi.*** Numer decyzji: DP/P.392276/9/gkost. Decyzja wydana 20.08.2013.
4. Tomczak J., Pater Z.: ***Sposób kształtowania plastycznego uzębień wewnętrznych kół zębatych metodą walcowania poprzecznego.*** Numer decyzji: DP/P.392273/7/gkost. Decyzja wydana 20.08.2013.

Patenty europejskie / European patents

1. Pater Z., Tomczak J.: ***Rotary Compression of Hollow Parts by Cross Rolling.*** Numer aplikacji 11 461 502.4-1702, numer decyzji POL/ME-OBRO3/10 z dnia 06.06.2013. Numer zgłoszenia EP 11461502 z dnia 03.01.2011.
2. Tomczak J., Pater Z.: ***Apparatus for Rotary Compression of Hollow Parts.*** Numer aplikacji 11 461 503.2-1702, numer decyzji POL3/ 10URZ z dnia 06.06.2013. Numer zgłoszenia EP 11461503 z dnia 03.01.2011.
3. Pater Z., Tomczak J.: ***Method for plastic forming of toothed shafts.*** Numer aplikacji 11 461 501.6-1702, numer decyzji POLIT/ME1/2/10 z dnia 06.06.2013. Numer zgłoszenia EP 11461501 z dnia 03.01.2011.

Referaty / Conference papers

1. Gontarz A.: ***Effective forming processes of hub forging from aluminum alloy AlCu2SiMn***, 5th International Conference on Advanced Design and Manufacture (ADM2013), Valencia, Hiszpania, 25-28.09.2013
2. Bartnicki J., Tomczak J., Bulzak T.: ***Przepychanie obrotowe wyrobów o zarysie śrubowym***, X Jubileuszowa Konferencja Odkształcalność Metali i Stopów, Łańcut, 26-29.11.2013
3. Tkocz M., Grosman F.: ***Analiza płynięcia materiału w procesie kucia segmentowego***, Międzynarodowa Konferencja „Forming 2013", Piešťany, Słowacja , 11-14.09.2013
4. Tkocz M., Grosman F.: ***Incremental forming of aircraft integral panels***, Conference "Supply on the Wings 2013", 8th International Aerospace Supply Fair AIRTEC, Frankfurt/Main, 5-7.11.2013
5. Grosman F.: ***Innowacyjne procesy kształtowania plastycznego***, X Jubileuszowa Konferencja Odkształcalność Metali i Stopów, Łańcut, 26-29.11.2013
6. Tkocz M.: ***Analiza stanów naprężeń i odkształceń w procesie kształtowania segmentowego***, X Jubileuszowa Konferencja Odkształcalność Metali i Stopów, Łańcut, 26-29.11.2013
7. Pawlicki J., Hyc K.: ***Naprężenie uplastyczniające i odkształcenie graniczne metali w warunkach złożonych obciążeń***, X Jubileuszowa Konferencja Odkształcalność Metali i Stopów, Łańcut, 26-29.11.2013
8. Grosman F.: ***Innowacyjne procesy kształtowania plastycznego metali***, *Seminarium Instytutu Nauki o Materiałach*, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej, Katowice, 19.11.2013

Publikacje / Publications

1. Drozdowski K., Tofil A., Gontarz A., Pater Z., Tomczak J.: ***Manufacturing process of plane rim from aluminium alloy***, Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, vol. 85, 6, 2013, s. 487-492.
2. Bartnicki J., Tomczak J., Bulzak T.: ***Przepychanie obrotowe wyrobów o zarysie śrubowym***, Rudy i Metale Nieżelazne 2013, R58, 11, s. 688 -692.
3. Tomczak J., Pater Z., Bulzak T.: ***Wpływ parametrów technologicznych na przebieg procesu obciskania obrotowego wielostopniowego wałka drążonego***, Hutnik - Wiadomości Hutnicze, 2013, 8, s. 602 –606.
4. Samołyk G., Winiarski G.: ***Kucie odkuwek piasty sprzęgła kłowego wykonanej ze stopu Ti6Al4V***, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, 2013, 8, s. 588-592.
5. Samołyk G.: ***Prasowanie obwiedniowe odkuwki sprzęgła kłowego z użyciem wkładki dociskowej***, Rudy i Metale Nieżelazne, 2013, nr 8, s. 435-441.
6. Tkocz M., Grosman F.: ***Analiza płynięcia materiału w procesie kucia segmentowego***, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, 2013, 9, s. 649-652.

Podsumowanie
Summary

- **Zaprezentowane metody kształtowania plastycznego wykazują duży potencjał w zakresie zastosowania w przemyśle lotniczym.**
- Otrzymane w trakcie realizacji projektu rezultaty dają realne podstawy do przygotowania kompletnych technologii produkcji dla 8 elementów samolotów i śmigłowców aktualnie wytwarzanych lub przewidywanych do rozpoczęcia produkcji.
- Większość opracowywanych technologii ma charakter innowacyjny i jest zabezpieczona zgłoszeniami patentowymi.
- Współpraca z partnerami przemysłowymi i Instytutem Lotnictwa jest bardzo efektywna i stanowi poważne wsparcie dla prowadzonych prac naukowo – badawczych i prób eksperymentalnych.
- Prowadzone badania eksperymentalne i symulacyjne pozwolą na ustalenie najkorzystniejszych warunków prowadzenia analizowanych procesów kształtowania. Przewiduje się wykonanie demonstratorów wybranych elementów samolotów i śmigłowców.

- **Presented forming processes exhibit a great application potential for the aerospace industry.**
- The results obtained within the project are the basis for preparing complete technologies for production of 8 aircraft parts that are already manufactured or are planned to be produced.
- The majority of developed technologies are innovative and are protected by patents.
- Collaboration with the industrial partners and the Institute of Aviation is very effective and it provides serious support in conducted research and experimental trials.
- Conducted experiments and simulations will enable to determine the most favourable conditions of both forming methods investigated. Demonstrators of the selected aircraft parts are to be prepared.

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO