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
25-26 Czerwca 2012

ZB 7

Plastyczne kształtowanie stopów magnezu (kucie precyzyjne, tłoczenie, wyciskanie, itd.)
Plastic forming of magnesium alloys (precision forging, stamping, extrusion, etc.)

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

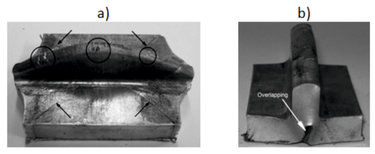
Wyniki badań
Results

Identyfikacja istotnych parametrów procesu kształtowania odkuwek płaskich z jednym żebrem ze stopu AZ31

Identification of important parameters of forming process of flat forgings with one rib from AZ31 alloy

Wykonane analizy teoretyczne i badania doświadczalne potwierdziły możliwość kształtowania odkuwek płaskich z jednym żebrem ze stopu magnezu AZ31. Proces można realizować według dwóch wariantów: metodą kształtowania półswobodnego oraz kształtowania w wykroju zamkniętym. Oba sposoby kształtowania zostały zgłoszone do ochrony patentowej. Na podstawie uzyskanych wyników zidentyfikowano zjawiska ograniczające proces kształtowania, do ktrórych zaliczono: wyboczenie wsadu powodujące zakucie w podstawie, pęknięcia na powierzchni żebra i pęknięcia podstawy, poszerzenie podstawy odkuwki i nierównomierność żebra.

Conducted theoretical analyses and experimental research confirmed the possibility of flat forging with one rib from AZ31 magnesium alloy hot forming. This process can be realized according to two variants: semi-free forming and flashless forming. Both ways of forming have been submitted for patent protection.
On the basis of the obtained results, phenomena limiting the forming process were identified. They include: billet buckling leading to overlapping in the base, cracking at the rib surface and cracking of the base, widening of the forging base and ribs irregularity.



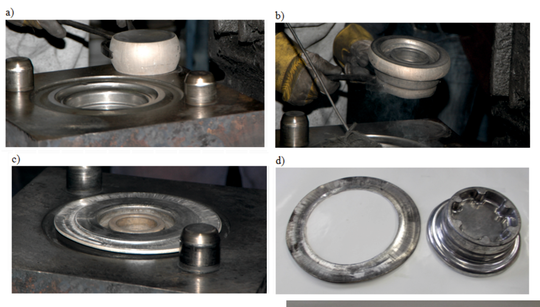
Rys. 1. Wady w odkuwkach: a) pęknięcia zlokalizowane na górnej krawędzi żebra (zaznaczone okręgami) i w podstawie odkuwki (zaznaczone strzałkami), b) zakucie w podstawie odkuwki
Fig. 1. Faults of forgings: a) cracks localized on the upper edge of the rib (circles) and in the forging base (arrows), b) overlapping in the base.

Rys. 2. Odkuwka bez pęknięć otrzymana w procesie kształtowania półswobodnego
Fig. 2. Forging without cracks obtained in semi-free forging process.

Rys. 3. Prawidłowa odkuwka otrzymana w procesie kucia w wykroju zamkniętym
Fig. 3. Proper forging obtained in the flashless forming.

Badania doświadczalne w warunkach przemysłowych procesu kucia odkuwki felgi ze stopu AZ31 do samolotów lekkich

Experimental tests in industrial conditions of forging process of rim drop forging from AZ31 magnesium alloy for light planes



Rys. 1 Kształt wyrobu po kolejnych zabiegach kucia: a) po spęczaniu, b) po kuciu wstępnym, c) po kuciu matrycującym, d) po okrawaniu wypływki
Fig. 1 The product shape after the following forging stages: a) upsetting, b) preliminary operations, c) final operation, d) trimming.

Rys. 2 Gotowy wyrób wykonany z odkuwki metodą obróbki mechanicznej
Fig. 2 Finished product made from the forging by means of machining.

Wykonano próby kucia odkuwki piasty ze stopów magnezu. Parametry podano w tab. 1.

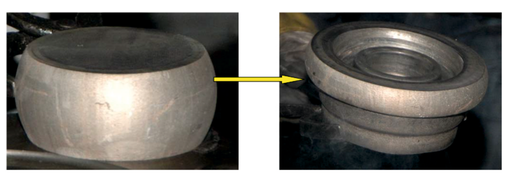
The test of hub forging made from magnesium alloys where carried out.
Parameters are shown in table 1.

Tab. 1. Parametry procesu kucia piasty koła

Tab. 1. Parametres of the forging proces of hub of the wheel **Materiał**	Wymiary [mm]	Nr cechy	Temperatura wygrz. [oC].	Czas nagrzewania [min]	Młot
AZ31E	Ø100x94	1	350	100	MPM 6300
AZ31E	Ø100x94	2	410	100	MPM 6300
AZ61E	Ø100x94	3	410	100	MPM 6300
AZ61E	Ø100x94	4	350	100	MPM 6300
AZ80E	Ø100x94	5	410	100	MPM 6300
AZ80E	Ø100x94	6	350	100	MPM 6300
WE43	Ø100x94	7	410	100	MPM 6300
WE43	Ø100x94	8	350	100	MPM 6300

Wnioski
Conclusions

- z próbki ze stopu AZ31 wykonano gotową odkuwkę o pożądanej jakości
- from the sample AZ31 a ready blank was carried out of required quality



Badania doświadczalne w warunkach przemysłowych procesu kucia odkuwki dźwigni ze stopu AZ31
Experimental tests in industrial conditions of forging process of lever drop forging from AZ31 magnesium alloy

W ramach zadania opracowano technologię kucia odkuwki dźwigni ze stopu AZ31. W tym celu wykonano szereg symulacji numerycznych, w których dokonano analizy kinematyki płynięcia materiału, rozkładu temperatury, intensywności odkształceń, naprężeń oraz energii uderzeń. Na podstawie otrzymanych wyników określono zjawiska ograniczające, które mogą wystąpić w procesie. Następnie po opracowaniu technologii przeprowadzono próby przemysłowe kucia. Otrzymano odkuwki o założonej jakości. Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że możliwe jest zastosowanie kucia matrycowego na młocie do produkcji odkuwki analizowanej dźwigni ze stopu AZ31.

In order to design a process guaranteeing obtaining a proper product, numerous simulations were made, in which material flow kinematics, temperature and strain distributions and energy of blows were analyzed. On the basis of the obtained results, the analysis of limiting phenomena, which could appear during the process, was made. Experimental tests in industrial conditions according to designed technology were carried out. Good quality of drop forgings were obtained. On the basis of conducted research, it was stated that hammer forging of lever drop forging from AZ31 magnesium alloy is possible.

Rys. 1 Kształt wyrobu po następujących etapach kucia: a) gięcie, b) przed kuciem wstępnym, c) po kuciu wstępnym, d) gotowa odkuwka z wypływką
Fig. 1 The product shape after the following forging stages: a) bending, b) before preliminary operation, c) after preliminary operations, d) final drop forging with flash.

Przykłady zastosowania w lotnictwie
Examples of application in aviation

Dźwignia (zadanie 2 - rys. 2) i felga (zadanie 3 - rys. 1) zostaną poddane certyfikacji, której celem jest dopuszczenie tych części do budowy samolotów.

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym
Collaboration with aviation industry

Prowadzona jest ścisła współpraca z Zakładem Obróbki Plastycznej Sp. z o.o. w Świdniku m.in. w zakresie kucia odkuwek ze stopów magnezu.

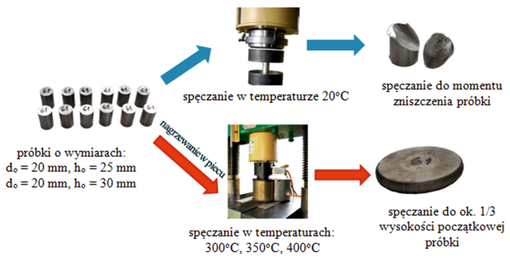
Wyniki badań
Results

Badania stopów magnezu AZ31 i AZ61
Testing AZ31 and AZ61 magnesium alloys

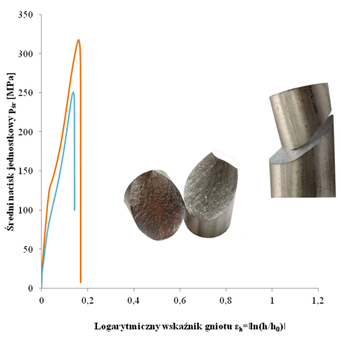
Spęczanie swobodne - określanie zdolności do odkształceń stopów AZ31 i AZ61
Upsetting test - determining the deformation ability of AZ31 and AZ61 alloys

Badania wykonano na hydraulicznej dwukolumnowej prasie o nominalnej sile nacisku 1000 kN. Próbki do badań cięto z prętów okrągłych wyciskanych o średnicy ϕ20 mm na walce o wysokości ho = 25 mm (stosunek ho/do = 1,25, stosowany podczas spęczania w temp. 20oC) lub walce o wysokości ho = 30 mm (stosunek ho/do = 1,5, stosowany podczas spęczania w temperaturach podwyższonych). Próbki do badań w temperaturach podwyższonych nagrzewano w piecu komorowym i przenoszono do podgrzewanej komory zamontowanej na dolnym stole prasy. Spęczanie wykonywano za pomocą podgrzewanego stempla połączonego z przetwornikiem siły zamontowanym do górnego stołu prasy. We wszystkich testach spęczanie wykonywano do momentu wystąpienia pęknięć lub do ok. 1/3 początkowej wysokości próbki.

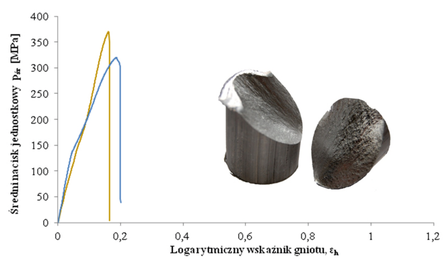
The tests were carried out on 1000 kN hydraulic press. The cylindrical specimens: height 25 mm (ratio ho/do = 1,25, used during upsetting in temperature 20oC) and 30 mm (ratio ho/do = 1,25, used during upsetting in elevated temperatures) were prepared from round extruded rods ϕ20 mm diameter. The specimens tested in elevated temperatures were heated in chamber furnace to a suitable temperature and then were carried to a special heating equipment mounted to the press platens, and then were upset. This equipment was designed in order to provide the uniform temperature distribution in the specimen during upsetting. It consists of an electric heating system embedded in the punch and the die, both insulated from the press bases. In all tests, the upsetting of the specimens was realized to the moment of a material cracking or to about one third of the initial specimen height.



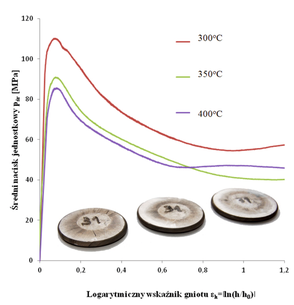
Metodyka badań stosowana w próbie spęczania
Methodology of the upsetting test



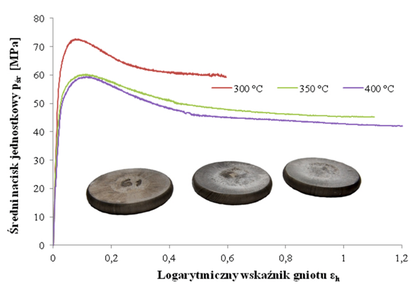
Przykładowe krzywe spęczania w temperaturze 20oC stopu AZ31 w stanie wyżarzonym
Typical flow curves of AZ31 magnesium alloy at temperature 20oC after annealing



Przykładowe krzywe spęczania w temperaturze 20oC stopu AZ61 w stanie wyżarzonym
Typical flow curves of AZ61 magnesium alloy at temperature 20oC after annealing



Przykładowe krzywe spęczania stopu AZ31 w temperaturach podwyższonych
Typical flow curves of AZ31 magnesium alloy at elevated temperatures

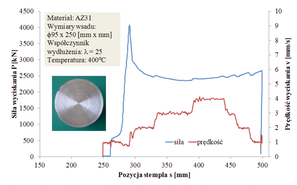


Przykładowe krzywe spęczania stopu AZ61 w temperaturach podwyższonych
Typical flow curves of AZ61 magnesium alloy at elevated temperatures

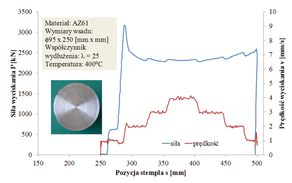
Wyciskanie przeciwbieżne
Backward extrusion

Próby wyciskania przeciwbieżnego przeprowadzono na 5000 kN hydraulicznej prasie poziomej. Parametry pracy prasy (względne przemieszczenie tłoczyska, pojemnika oraz ciśnienia w układach hydraulicznych prasy, prędkość tłoczyska i inne) rejestrowane były automatycznie przez mikroprocesor wbudowany w panel sterujący prasy. W oparciu o te wyniki sporządzono charakterystyki wyciskania badanych materiałów jako przebiegi zależności siły wyciskania i prędkości wyciskania od pozycji tłoczyska.

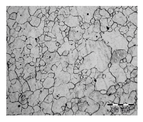
The extrusion processes were carried out on the backward extrusion 5 MN capacity hydraulic press. During extrusion several parameter of the process were recorded automatically (relative stem displacement, pressure in hydraulic system of the press, stem velocity and others). Basing on these date extrusion characteristics as a relations of the extruded load and stem rate versus steam position were prepared.



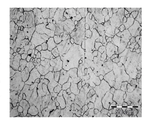
Siła i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu okrągłego ϕ20 mm ze stopu AZ31 (λ = 25)
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for AZ31 during extrusion of round section ϕ20 mm (λ = 25)



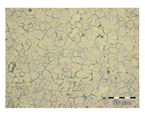
Siła i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu okrągłego ϕ20 mm ze stopu AZ61 (λ = 25)
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for AZ61 during extrusion of round section ϕ20 mm (λ = 25)



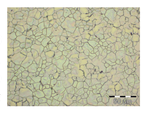
Mikrostruktura stopu AZ31 – przekrój poprzeczny, pręt ϕ20 mm po wyciskaniu, obszar w pobliżu powierzchni zewnętrznej próbki, powiększenie 500x
Microstructure of the AZ31 alloy – cross-section, extrusion rod ϕ20 mm, the region close to the specimen surface, magnification 500x



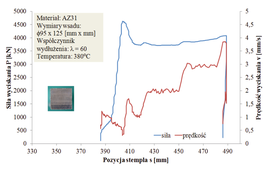
Mikrostruktura stopu AZ31 – przekrój poprzeczny, pręt Ø20 po wyciskaniu, badanie w pobliżu osi próbki, powiększenie 500x
Microstructure of the AZ31 alloy – cross-section, extrusion rod ϕ20 mm, the region in the centre of the rod, magnification 500x



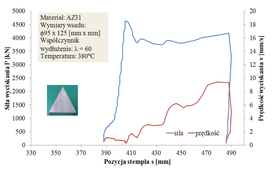
Mikrostruktura stopu AZ61 po wyciskaniu – przekrój poprzeczny, pręt Ø20 mm, obszar w pobliżu powierzchni pręta, powiększenie 500x.
Microstructure of the AZ61 alloy – cross-section, extrusion rod ϕ20 mm, the region close to the specimen surface, magnification 500x



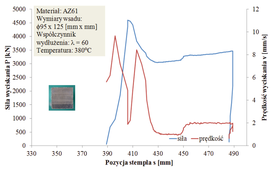
Mikrostruktura stopu AZ61 po wyciskaniu – przekrój poprzeczny, pręt Ø20 mm, obszar w pobliżu osi pręta, powiększenie 500x.
Microstructure of the AZ31 alloy – cross-section, extrusion rod ϕ20 mm, the region in the centre of the rod, magnification 500x



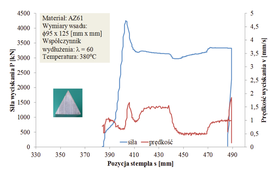
Siła i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu kwadratowego ze stopu AZ31 (λ = 60)
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for AZ31 during extrusion of square section (λ = 60)



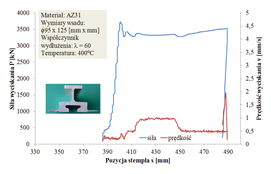
Siła i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu trójkątnego ze stopu AZ31 (λ = 60)
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for AZ31 during extrusion of triangle section (λ = 60)



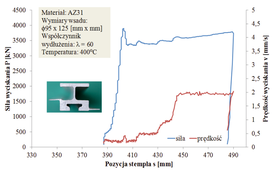
Siła i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu kwadratowego ze stopu AZ61 (λ = 60)
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for AZ61 during extrusion of square section (λ = 60



Siła i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu trójkątnego ze stopu AZ61 (λ = 60)
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for AZ61 during extrusion of triangle section (λ = 60)



Siła i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu złożonego ze stopu AZ31 (λ = 60)
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for AZ31 during extrusion of complex section (λ = 60)



Siła i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu złożonego ze stopu AZ31 (λ = 60)
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for AZ31 during extrusion of complex section (λ = 60)

Wnioski
Conclusions

Optymalne temperatury przeróbki plastycznej na gorąco stopów AZ31 i AZ61 mieszczą się w przedziale 350 – 400oC. W przypadku stopu AZ61, w temperaturach wyższych od 400oC, ze względu wydzielenia na granicach ziaren fazy międzymetalicznej Mg17Al12 o niskiej temperaturze topnienia (437oC), może wystąpić pękanie na gorąco.
2. Siła inicjująca proces wyciskania stopów magnezu może osiągać bardzo duże wartości, zbliżone do nominalnej siły prasy, często uniemożliwiające realizację procesu. Obniżenie siły można osiągnąć zmniejszając znacznie prędkość wyciskania.
3. Stopy magnezu są silnie wrażliwe na prędkość wyciskania, chociaż zmiana prędkości w ustalonym procesie w niewielkim stopniu wpływa na wzrost siły wyciskania ze względu na zjawisko rekrystalizacji dynamicznej. Jednakże zbyt duża prędkość powoduje szybkie przegrzanie materiału, które początkowo objawia się zmianą zabarwienia powierzchni prasówki z metalicznie białej na intensywnie żółtą, a w przypadku znacznego wzrostu temperatury, pękaniem (szczególnie dla stopów o zwiększonej zawartości aluminium, np. AZ61, AZ80).
4. Korzystne właściwości użytkowe stopów magnezu (niska gęstość 1,6 - 1,8 g/cm3 oraz wytrzymałość na rozciąganie Rm = 300 - 350 MPa) uzasadniają zastosowania lotnicze tych materiałów. Dodatkową zaletą może być również dobra przetwarzalność metodami wyciskania, umożliwiająca otrzymywanie kształtowników o złożonym profilu, mających zastosowanie jako elementy konstrukcyjne. Wadą tych materiałów jest niska odporność na korozję, wymagająca stosowania pokryć ochronnych na elementach narażonych na oddziaływania atmosferyczne.
Conclusions:
1. Optimal temperatures of hot working of magnesium alloys AZ31 and AZ61 are in the range 350 – 400oC. In case of AZ61, the fracture can occur in temperatures higher than 400oC.
2. The extrusion load can be very high (close to press load capacity) in the beginning of the process and it can cause the extrusion process impossible. It be decreased by reducing the steam rates.
3. Magnesium alloys cannot be extruded with too high extrusion rates. It can cause too large increase of the process temperature and fracture and fracture of material.
4. Advantages properties of magnesium alloys (low density and high strength) motivates to their application in aerospace industry. Additional advantage is their good extrudability, enabling manufacturing sections with complex shapes. Disadvantage of these materials is their low corrosion resistance.

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Referaty

` Autor Pierwszy. B., Drugi C.: ***Tytuł referatu w ramach projektu .*** Pełne dane bibliograficzne dot. referatu (gdzie wygłoszony, opublikowany, str.)

Publikacje

1. Gontarz A., Pater Z. Drozdowski K., Doleba R.: ***Weryfikacja teoretyczna procesu kucia matrycowego odkuwki dźwigni ze stopu magnezu AZ80.*** Rudy i Metale Nieżelazne, R 57, Nr 5, 2012, s. 305-311.

Prace mgr, dr, hab.

Prace inżynierskie obronione:

- Łukasz Smardzewski: ***Kształtowanie plastyczne wyrobów płaskich z żebrami ze stopu magnezu Mg4AlZn***; opiekun pracy dr hab. inż. Andrzej Gontarz; 16.06.2012
- Łukasz Kaczor: ***Kształtowanie skrajnych zgrubień w wałach drążonych ze stopu magnezu AZ31***; opiekun pracy dr hab. inż. Andrzej Gontarz; 16.02.2012

•**Prace magisterskie obronione:**

- Łukasz Bąk, temat pracy: Wyciskanie stopu magnezu AZ61 na prasie przeciwbieżnej, promotor: dr inż. Tadeusz Balawender
- Łukasz Bieniasz, temat pracy: Wyciskanie stopu magnezu AZ31 na prasie przeciwbieżnej, promotor: dr inż. Tadeusz Balawender

Praca doktorska w realizacji:

Tytuł: ***Kształtowanie odkuwek płaskich z żebrami ze stopów magnezu,***
Autor: Anna Dziubińska
Promotor: dr hab. inż. Andrzej Gontarz
Status: *w realizacji*

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO