Projekt kluczowy

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO

III KONFERENCJA ROCZNA
13-14 Grudnia 2010

ZB 8

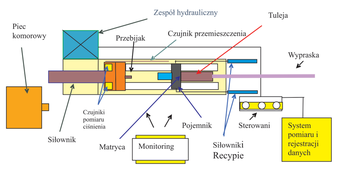
Plastyczne kształtowanie lotniczych stopów Al (w tym Al-Li) oraz Ti

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

Wyniki badań

Wyciskanie lotniczych stopów aluminium

Piec komorowy KM 50/13



Schemat prasy poziomej o nacisku 5000 KN

Prasa pozioma PH-LR 500

Wstępne próby wyciskania stopów aluminium

Tab. Parametry wyciskania stopów aluminium i tytanu

Material	Skład chem.	Temp. wyciskania	Prędkość wypływu prasówki [m/min.] Vp	λ	Prędkość wyciskania [mm/sec.] Vw	Temp. matrycy	Temp. przebijaka	Temp. pojemnika	Temp. nagrzania wlewka	Czas nagrzania wlewka
T6Al-4V	Al (5,5-6,75), V (3,5-4,5), O_2 (0,2), Fe (0,3), H_2 (0,0125), C (0,08), N_2 (0,05), Ti (reszta)	850-900°C 600-1000 °C	30-50 m/min. 40m/min. (666,4mm/sec.)	6,25 7,71 25	106,6 86,43 26,65			540 °C	900-1150 °C	
T6Al-2Sn-4Zr-6Mo	Al (5,5-6,5), Mo (5,5-6,5), Zr (3,5-4,5), Sn (1,75-2,25), Cu (0,1), Si (0,1), O_2 (0,07-0,12), Fe (0,15), H_2 (0,0125), C (0,04), N_2 (0,04), Ti (reszta)	850-900°C 600-1000 °C	30-50 m/min. 40m/min. (666,4mm/sec.)	6,25 7,71 25	106,6 86,3 26,65			540 °C	800-950 °C	
2017A	Si (0,2-0,8), Fe (0,7), Cu (3,5-4,5), Mn (0,4-1), Mg (0,4-1), Cr (0,1), Zn (0,25), Ti (0,02), Al - reszta	380-480 °C 300-600 °C	1,5-3 m/min. 2,25m/min. (37,48mm/sec.)	6,25 7,71 25	5,99 4,86 1,49			400 °C	420-450 °C	
2618A	Si (0,7-1,2), Fe (0,7), Cu (1,8-2,6), Mn (0,4-0,8), Mg (0,4-0,8), Cr (0,2), Ni (0,1), Zn (0,3), Ti (0,1), Al - reszta	380-480 °C 300-600 °C		6,25 7,71 25						
6101A	Si (0,6), Fe (0,3), Cu (0,1), Mn (0,1), Mg (0,6), Cr (0,05), Zn (0,15), Ti (0,10)	380-480 °C 300-600 °C	35-80 m/min. 57m/min. (949,62mm/sec.)	6,25 7,71 25	151,93 123,16 37,98			410°C	460-480 °C	
8090	Cu (1,2), Mg (0,9), Li, Zr - reszta	380-480 °C 300-600 °C		6,25 7,71 25						

Wyciśnięte materiały

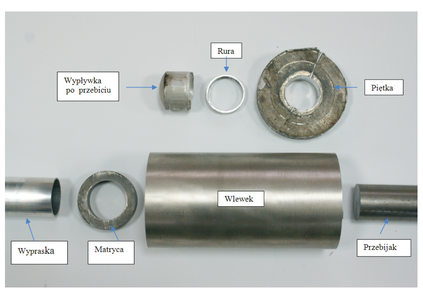
Stop aluminium 6101

Stop aluminium 8090

Wycisnięte stopy aluminium

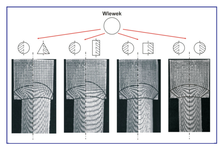
Pietki wsadów wycisniętych materiałów

Wstępne formowanie materiału w procesie wyciskania

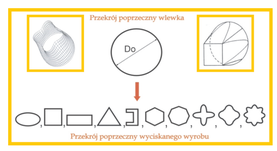


Proces wyciskania rury Φ 43 o ściance 1,5 mm ze stopu aluminium 8090

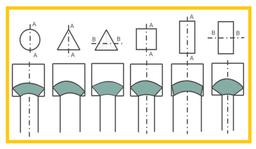
Cechy szczególne wyciskania wyrobów o przekrojach nieosiowosymetrycznych



Zmiana z przekroju kołowego (wlewek) na przekrój niekołowy (wyrób)



Różnice w charakterze płynięcia w porównaniu z wyciskaniem wyrobów o przekroju osiowosymetrycznym



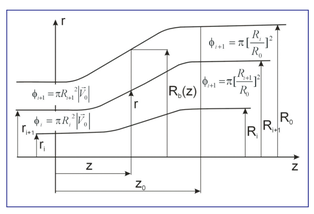
Różna konfiguracja stref odkształcenia (wielkość, kształt i objętość strefy plastycznej

Cel badań

Przedstawienie analizy kinematyki plastycznego płynięcia materiału poddanego wyciskaniu przez osiowo (przekrój kołowy) i nieosiowosymetryczny (przekrój prostokątny) otwór matrycy z wykorzystaniem funkcji prądu

- poszukiwanie rozwiązań konstrukcyjnych narzędzi (optymalny kształt) pozwalających na uzyskanie najbardziej korzystnego charakterupłynięcia materiału przy relatywnie niskiej sile wyciskania,
- uzyskanie wysokiej jakości wyrobu o złożonym kształcie przekroju poprzecznego.ieosiowosymetryczny (przekrój prostokątny) otwór matrycy z wykorzystaniem funkcji prądu

Określenie kinematyki plastycznego płynięcia materiału podczas wyciskania - funkcja prądu



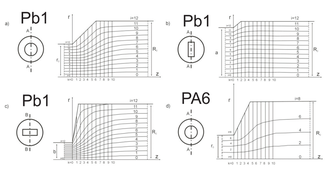
$$\phi(r,z) = \pi r_n^2(r,z) + \delta\phi(r,z)$$

$$r_n = \frac{r}{R_b(z)}$$

$$\delta\phi(r,z) = \pi\frac{R_i^2}{R_0^2} - \pi r_n^2$$

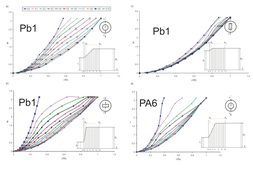
$\phi(r,z)$ - funkcja prądu, r_n – stosunek bieżącej wartości współrzędnej r punktu leżącego w k- tym przekroju współrzędnej z do wartości R_b , i – numer kolejnej linii prądu, R_i – odległość danej linii od osi z z nieodkształconej części, R_0 – promień konturu matrycy w rozpatrywanym przekroju współrzędnej z

Doświadczalnie wyznaczone linie prądu



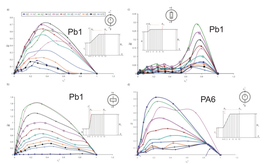
Rozkład funkcji prądu w obszarach uplastycznienia

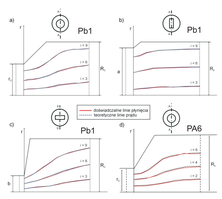
Rozkład funkcji prądu w obszarach uplastycznienia



Zakładając, że funkcja $\delta\phi(r,z)$ jest ciągła i wielokrotnie różniczkowalna w polu płynięcia oraz przyjmuje wartości zerowe na brzegach obszaru określoności, można ją przedstawić w postaci szeregu trygonometrycznego zależnego od zmiennych r i z.

$$\delta\phi(r,z) = A_1(z)\sin\pi r_n^2 + A_2(z)\sin 2\pi r_n^2 + \ldots + A_k(z)\sin k\pi r_n^2$$





Porównanie teoretycznych linii prądu i doświadczalnych linii płynięcia

Wnioski

Przedstawione przykłady wyciskania wskazują, że doświadczalnie wyznaczona funkcja prądu $\phi(r,z)$, interpretowana fizycznie jako wydatek przepływu, może być przedstawiona w postaci sumy dwóch składowych $\phi_1=\pi r_n^2$ i $\delta\phi(r,z)$.

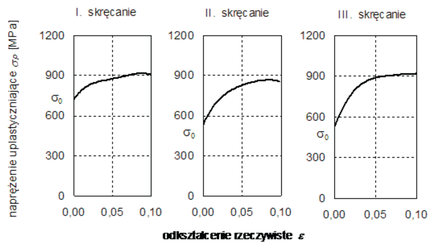
Przebiegi funkcji prądu w polu płynięcia plastycznego wykazały, że do ich analitycznego opisu można zastosować szeregi trygonometryczne w postaci separowanej ze względu na współrzędną, której kierunek jest zgodny z kierunkiem ruchu stempla.

Wyniki metody funkcji prądu potwierdzają celowość jej zastosowania w opisie mechaniki plastycznego płynięcia materiałów charakteryzujących się złożonym schematem płynięcia. Metoda jest czuła na zidentyfikowanie obszarów uplastycznienia oraz cech przebiegu linii prądu dzwierciedlających rzeczywisty ich przebieg. Teoretycznie określone linie prądu mogą służyć do przewidywania schematów plastycznego płynięcia materiału w procesie wyciskaniaprofili o wysokich wymaganiach eksploatacyjnych.

Wyniki badań wstępnych

Wyniki badań wstępnych potwierdziły istotny wpływ zmiany schematu obciążenia na wartość sił niezbędnych do realizacji odkształcenia, a tym samym na przebieg funkcji naprężenia uplastyczniającego σp=f(ε). Na rysunku przedstawiono przykładowe charakterystyki mechaniczne materiału poddanego skręcaniu ze zmianą znaku momentu skręcającego.

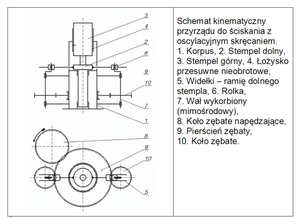
Zależności σ_p = f(ε) dla kolejnych faz skręcania ze zmianą znaku momentu skręcającego dla próbki ze stopu tytanu Ti-3,5Al-1,5Mn.



Przedstawione badania eksperymentalne będą pomocne w opracowaniu postaci uniwersalnego równania konstytutywnego. Przeprowadzone badania stały się inspiracją do opracowania i wykonania stanowiska badawczego realizującego przebiegi odkształcenia występujące w procesach wspomaganych naprężeniami ścinającymi.

Kształtowanie plastyczne wspomagane naprężeniami ścinającymi
Stanowisko badawcze

Przyrząd do ściskania z oscylacyjnym skręcaniem daje duże możliwości w zakresie realizacji testów czułości materiału na zmianę drogi odkształcania oraz zastosowania praktycznego do prowadzenia technologicznej operacji spęczania (rysunek)

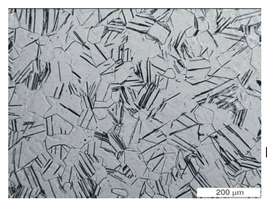


Schemat kinematyczny przyrządu do ściskania z oscylacyjnym skręcaniem. 1. Korpus, 2. Stempel dolny, 3. Stempel górny, 4. Łożysko przesuwne nieobrotowe, 5. Widełki – ramię dolnego stempla, 6. Rolka, 7. Wał wykorbiony (mimośrodowy), 8. Koło zębate napędzające, 9. Pierścień zębaty, 10. Koło zębate.

Przebieg drogi odkształcenia można regulować zmieniając proporcje udziału w odkształceniu całkowitym: odkształceń liniowych - wywołanych osiowym ruchem stempla i odkształceń postaciowych - wywołanych obrotowym ruchem stempla. Sterowanie pozwala na regulację prędkości ściskania, częstotliwości skręcania i amplitudy kąta skręcania. Wielkość i konstrukcję urządzenia przystosowano do pracy w przestrzeni roboczej maszyny wytrzymałościowej. Nastawy wielkości kinematycznych umożliwiają zmianę kąta skręcania w zakresie od 0° do ±8°. Częstotliwość wahań dolnego stempla f_{skr} jest regulowana przez falownik w zakresie od 0 do 1,8 Hz z możliwością zwiększenia częstotliwości maksymalnej do 2,6 Hz. Prędkość przesuwu dolnego stempla jest regulowana (związana z ruchem trawersy maszyny wytrzymałościowej) i może wynosić maksymalnie 0,66 mm/s. Dopuszczalna siła ściskająca ma wartość 300 kN. Siła ściskająca F [kN], moment skręcający M_s [Nm], droga odkształcenia Δh [mm] i kąt skręcania α [stopnie] są rejestrowane komputerowo. System rejestruje i archiwizuje dane pomiarowe, pozwala także na programowanie przebiegu prób (zadanie konkretnej wartości przemieszczenia). W trakcie prób możliwa jest wizualizacja charakterystyk siłowych w czasie rzeczywistym.
εσ

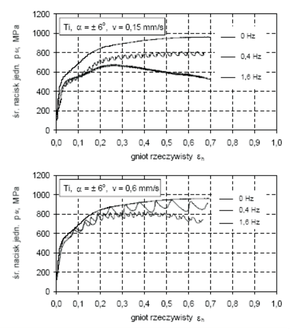
Metodyka i wyniki badań

Ocenę parametrów siłowych procesu kształtowania plastycznego w warunkach ściskania z oscylacyjnym skręcaniem przeprowadzono dla czystego technicznie tytanu. Strukturę wyjściową materiału badanego przedstawiono na rys.1.
Stosowano próbki walcowe o wymiarach początkowych d_0 = 10 mm i h_0 = 15 mm. Próbki ściskano gniotem bezwzględnym Δh = 7,5 mm w warunkach: kąta skręcania α = 0° i ± 6°, częstotliwości skręcania f_{skr} = 0 Hz, 0,4 Hz i 1,6 Hz, prędkości ściskania v = 0,15 mm/s i 0,6 mm/s. Charakterystyki średnich nacisków jednostkowych psr=f(Δh), wyznaczone podczas ściskania z oscylacyjnym skręcaniem, na tle przebiegu procesu ściskania konwencjonalnego przedstawiono na rys.2.



Rys. 1. Struktura wyjściowa badanego materiału.

Rys. 2. Charakterystyki średnich nacisków jednostkowych.



Wnioski

Uzyskane wyniki badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

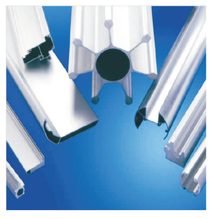
1. Posiadanie kompletnych charakterystyk technologicznej plastyczności materiałów jest niezbędne do prawidłowego przeprowadzenia symulacji komputerowej i projektowania procesów przeróbki plastycznej.
2. Odkształcanie w warunkach złożonych stanów obciążenia pozwala na sterowanie przebiegiem drogi odkształcania, która ma znaczący wpływ na wielkość skumulowanego odkształcenia i siły nacisku narzędzia na kształtowany materiał.
3. W procesie ściskania z oscylacyjnym skręcaniem wartość całkowitego odkształcenia skumulowanego można w szerokim zakresie regulować poprzez dobór prędkości ściskania, częstotliwości skręcania oraz wielkości amplitudy kąta skręcania.
4. Obserwowane, w analizowanych procesach odkształcania plastycznego, efekty w postaci zmian parametrów siłowych, potwierdzają możliwość wykorzystania odkształcania w warunkach cyklicznie zmiennych, złożonych stanów obciążenia, do przemysłowej realizacji procesów kształtowania plastycznego.

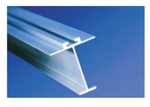
Wyniki badań

Materiały lotnicze na bazie Al

Wymagania:

- zdolność przenoszenia obciążeń w zadanych warunkach eksploatacji przy możliwie małych wymiarach i masie konstrukcji,
- podatność na przetwarzanie (lejność, plastyczność, skrawalność, spawalność itp.),
- zapewnienie dużej trwałości i niezawodności elementów oraz podzespołów.





Elementy lotnicze: wspornik, dźwignia, łącznik, wręga, tuleja, rama okienna, poręcz siedzenia.

Rodzaj stopu	Własności mechaniczne				
	R_m [MPa]	$R_{0.2}$ [MPa]	A_5 [%]	A_{10} [%]	HB
2017 A	380	250	12	10	105
2024	430	290	10	8	115
2618 A	390	310	6	-	105
2014	440	360	8	7	110
5251	150	60	16	14	40
5754	180	60	15	13	45
5005	100	40	17	15	30
6082	200	100	12	10	60
6101 A	200	170	10	-	71
8090	400	300	4	-	91

Projektowanie i kontrola procesu wyciskania stopów Al

Zastosowanie specjalnych rodzajów wyciskanych profili z aluminium i jego stopów używanych w nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych w lotnictwie stwarza potrzebę zmiany ich gabarytów, stopnia skomplikowania kształtu czy redukcji grubości ścianek.
Cechy specyficzne stopów Al:

- właściwości cieplne,
- relatywnie mała plastyczność,
- wąski zakres parametrów procesu.

Czynniki ograniczające proces wyciskania profili cienkościennych ze stopów Al

- Tolerancje wymiarowe (wyciskanie profili na gorąco z tolerancją grubości ścianki poniżej 0,1mm jest bardzo trudne; uzyskanie minimalnej grubości ścianki profilu na poziomie 0,6 mm pociąga za sobą wzrost siły wyciskania).
- Problemy z uzyskaniem odpowiedniej stabilności geometrycznej, jakości powierzchni, jednorodnej struktury i własności wyrobu (przy małej grubości ścianki profilu pojawiają się kłopoty z utrzymaniem stabilności geometrycznej wyciskanego wyrobu w postaci lekkiego falowania na jego części środkowej).
- Utrudnione projektowanie i wykonawstwo narzędzi (trudności w projektowaniu matryc zapewniających jednakową prędkość cząstek metalu w całym przeświecie matrycowym).

Wyniki badań

Kształtowanie plastyczne tytanu w warunkach wymuszonej drogi odkształcenia

Podstawą prawidłowej symulacji i projektowania procesów technologicznych jest znajomość charakterystyk opisujących własności technologiczne materiału. Dla każdego procesu technologicznego można określić zestaw cech, które dobrze opisują podatność materiału do danego procesu. Dla procesów przeróbki plastycznej podstawowymi cechami charakteryzującymi podatność materiału do kształtowania plastycznego są: naprężenie uplastyczniające σ_p i odkształcenie graniczne ε_g. W oparciu o aktualny stan wiedzy można stwierdzić, że dla procesów przeróbki plastycznej na zimno naprężenie uplastyczniające jest funkcją wielkości odkształcenia (ε) i historii przebiegu odkształcenia (h_ε):

$$\sigma_p = f(\varepsilon, h_\varepsilon) \quad (1)$$

a dla procesów przeróbki plastycznej w podwyższonych temperaturach i na gorąco naprężenie uplastyczniające jest funkcją: wielkości odkształcenia (ε), prędkości odkształcenia ($\dot{\varepsilon}$), temperatury (T) i historii odkształcenia (h_ε):

$$\sigma_p = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T, h_\varepsilon) \quad (2)$$

Brak jest opracowań dla funkcji, która opisywałaby wpływ dowolnej drogi odkształcenia na wartość naprężenia uplastyczniającego.

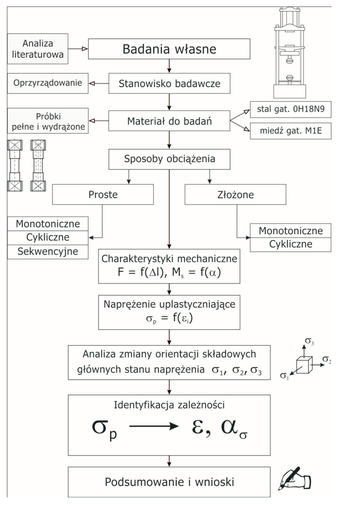
Metodyka badań

Efekt zmiany orientacji osi głównych stanu naprężenia uzyskano poprzez dobór różnych sposobów obciążenia i parametrów prób. Próby odkształcania przeprowadzono dla prostych schematów obciążenia oraz w warunkach złożonych obciążeń. Charakterystyki wyznaczone w warunkach monotonicznego przebiegu odkształcenia stanowiły tło do analizy porównawczej. Badania przeprowadzono dla próbek pełnych, a w próbach skręcania monotonicznego i rewersyjnego również dla próbek wydrążonych.

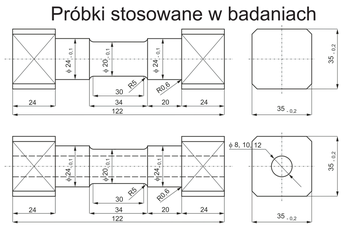
Próby odkształcania w warunkach złożonych obciążeń zewnętrznych przeprowadzono dla wariantów: rozciąganie z monotonicznym skręcaniem, ściskanie z monotonicznym skręcaniem, rozciąganie z rewersyjnym skręcaniem, ściskanie z rewersyjnym skręcaniem.

PROGRAM BADAŃ

Schemat przeprowadzonych badań własnych przedstawiono na rysunku



Próbki stosowane w badaniach



Przykłady zastosowania w lotnictwie

Elementy skrzydeł, kadłuba samolotu i silników lotniczych.

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

Współpraca z WSK PZL Rzeszów w zakresie opracowania technologii kształtowania plastycznego elementów integralnych i powłokowych.

Wskaźniki realizacji celów projektu

Referaty

- Pawlicki J., Grosman F., Ziółkiewicz S.: ***Kształtowanie segmentowe odkuwek ze stopów tytanu i aluminium***. VII Międzynarodowa Konferencja Forming 2010, 8-11 września 2010, Slnava Piestany/Republika Słowacji
- Pawlicki J.: referat pt. ***Naprężenie uplastyczniające metali w warunkach złożonych i zmiennych obciążeń zewnętrznych***. VII Międzynarodowa Konferencja Forming 2010, 8-11 września 2010, Slnava Piestany/Republika Słowacji.
- Pawlicki J., Grosman F., Ziółkiewicz S., Madej Ł. .: ***Analiza stanów mechanicznych w procesie kształtowania segmentowego.*** VII Seminarium Naukowe, Zintegrowane Studia Podstaw Deformacji Plastycznej Metali, PLASTMET'2010, 30.11-3.12.2010, Łańcut.

Publikacje

- Grosman F., Pawlicki J., Ziółkiewicz S.: ***Kształtowanie segmentowe odkuwek ze stopów tytanu i aluminium***. Hutnik. Wiadomości Hutnicze, nr 8, 2010, s. 388-391.
- Pawlicki J.: ***Naprężenie uplastyczniające metali w warunkach złożonych i zmiennych obciążeń zewnętrznych***. Hutnik. Wiadomości Hutnicze, nr 8, 2010, s. 425-427.

Prace mgr, dr, hab.
Prace doktorskie

Tytuł: ***Projektowanie technologii wytwarzania elementw przepływowych silnika lotniczego wspomagane technikami skanowania przestrzennego i szybkiego prototypowania***
Autor: Gołębiewska –Kurzawska J.
Status: *W trakcie reazlizacji*

Prace habilitacyjne
Tytuł: ***Naprężenie uplastyczniające metali w warunkach zmiany orientacji osi głównych stanu naprężenia.***
Autor: Pawlicki J.:
Status: obrona maj 2011 r.)

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO