Projekt kluczowy Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym









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

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

Wyniki badań 1. Opracowanie założeń w tym: geometrii, stanu powierzchni wsadów oraz schematu przebiegu procesu wyciskania hydrostatycznego stopów tytanu i aluminium 2. Przeprowadzenie testów kształtowania metodą wyciskania hydrostatycznego. Vyciskanie hydrostatyczne realizowane we współpracy z IWC PAN



hydrostatyczne w

trzech etapach

 $R = \frac{S_w}{S_k} = \frac{(r_w)^2}{(r_k)^2}$

Parametry stereologiczne - d_{eq} , SD(d_{eq}), CV(d_{eq}) oraz wytrzymałościowe (HV_{0,2}, Re, Rm) badanych stopów AI – Li po wyciskaniu hydrostatycznym

Stop	Srednia wielkosc ziarna [µm]	SD(d _{eq})	CV(d _{eq})	CV(d _{eq}) Mikrotwardosc HV _{0,2}		Wytrzymalo sc na rozciaganie R _m [MPa]	
Al – 0,7 Li	0,53	0,18	0,35	56	190	195	
Al – 1,6 Li	0,52	0,14	0,31	69	235	245	
Al – 2,3 Li	0,39	0,12	0,29	84	243	270	

Detal nr 3 : plytka stal - tytan - aluminium



Połączenie na wielokrotną zakładkę [w przypadku połączenia stal-tytan wstęga odkształconego materiału jest znacznie grubsza niż w przypadku połączenia aluminiumtytan] Silne odkształcenie w obrębie złącza





Badane materialy

Stop	Udzial w % wagowych										Srednia	Mikrotwardose	Umowna granica	Wytrzymalosc na
	Li	Zr	Fe	Si	Cu	Ti	Mg	Al		Stop	wielkosc ziarna [µm]	HV _{0,2}	plastycznosci R _e [MPa]	rozciaganie R _m [MPa]
Al - 0,7Li	0,7	-	0,011	0,008	0,0065	0,0076	0,0016	reszta	-		220	20	[[]]]	07
										AI = 0,7 LI	330	30	55	95
AI - 1,0L1	1,6	-	0,034	0,01	0,0063	0,0068	0,0031			Al – 1,6 Li	290	42	60	135
Al - 2,3Li	2,3	-	-	-	-	-	-			Al – 2,3 Li	30	49	137	191
Al - 2,2Li - 0,1Zr	2,2	0,1	-	-	-	-	-			Al – 2,2 Li – 0,1 Zr	20	64	147	242
Al - 2,2Li - 1,2Cu - 0,1Zr	2,2	0,1	-	-	1,2	-	-			Al – 2,2 Li – 1,2 Cu – 0,1 Zr	20	79	176	272

Parametry procesu wyciskania hydrostatycznego (HE)

l.p.	Srednica poczatkowa [mm]	Srednica koncowa [mm]	Redukcja przekroju R	Odksztalcenie ε	Odksztalcenie skumulowane	$\epsilon = 2 \ln \frac{r_w}{r_k}$ gdzie:
1	20	10	4	1.4	1.4	rk – promień próbki w stanie wyjsciowym, rk – promień próbki po kolejnym procesie wyciskania,
2	10	5	4	1.4	2.8	Sw – pole przekroju poprzecznego próbki w stanie
3	5	3	2.8	1.0	3.8	wyjsciowym,



Al – 2,2 Li – 0,1 Zr	0,31	0,13	0,35	100	252	325
Al – 2,2 Li – 1,2 Cu – 0,1 Zr	-	-	-	116	297	398

Analiza mikrostruktury złączy modelowych otrzymywanych metodą wybuchową (badania prowadzone we współpracy z Z.T.W. EXPLOMET)

Detal nr 1 : walek miedziano - tytanowy



Detal nr 1

- Ze względu na promieniowy kierunek łączenia (mniejsza swoboda odkształcania) linia złącza jest względnie gładka.
 - Tytan •
- Na zdjęciach mikrostruktury nie obserwuje się strefy dyfuzyjnej.

Detal nr 1 : walek miedziano - tytanowy



100 µm Detal nr 1, mikrostruktura miedzi

Miedź:

Znaczna zmiana wielkości ziarna

wewnątrz: duże ziarno z widocznym bliźniakami;

Detal nr 3, mikrostruktura tytanu Detal nr 3, mikrostruktura aluminium

Detal nr 4 : blok stalowo - tytanowy



Strefa złącza ma kształt "załamującej się fali" Zdjęcia metalograficzne nie ujawniają istnienia strefy dyfuzyjnej

Tytan [250 HV_{0.2}] • Stal [210 HV_{02}]

Detal nr 4 : blok stalowo - tytanowy



• We wnętrzu struktura ferrytyczno-perlityczna z teksturą wywołaną walcowaniem na gorąco W strefie złącza silnie wydłużone ziarna ferrytu i perlitu. Zmniejszenie udziału perlitu w bezpośredniej bliskości złącza

Detal nr 4 : blok stalowo - tytanowy



100 µm Detal nr 4, mikrostruktura tytanu. A) w glebi, B) w srodkowej czesci, C) w strefie zlacza Stopniowe zmiany mikrostruktury od względnie dużego ziarna (z występującymi bliźniakami odkształcenia) do drobnego, równoosiowego ziarna w pobliżu złącza. Występowanie ciemnego obszaru w obrębie połączenia

100 µm Detal nr 1, mikrostruktura tytanu. A) przy powierzchni, B) w srodkowej czesci, C) w strefie zlacza Tytan:

- Niejednorodne wytrawienie (ochrona protektorowa wynikająca z obecności Cu)
- w obrębie połączenia mniejsze ziarno obecność bliźniaków

Miedź

Stal

[120 HV_{0.2}]

[210 HV_{0.2}]

Detal nr 1 zdjecie SEM Miedź

[140 HV_{0.2}] [250 HV_{0.2}]





w obrębie połączenia silne rozdrobnienie

Detal nr 2 : blok miedziano - stalowy



- Strefa połączenia ma charakterystyczny kształt "załamującej się fali" (okres ~3mm, amplituda ~2mm)
- Kierunek "załamania" ma stałą tendencję.
- Zdjęcia metalograficzne nie ujawniają istnienia strefy dyfuzyjnej

Detal nr 2 : blok miedziano - stalowy



Detal nr 2 : blok miedziano - stalowy



A – obszar bardzo drobnych ziaren ferrytu (poniżej 10µm) oraz niewielka ilość bardzo silnie wydłużonych ziaren perlitu, wielkość ziarna płynnie wzrasta wraz z oddalaniem się od linii złącza B – silnie odkształcone ziarna ferrytu i perlitu

Silne rozdrobnienie ziarna w obrębie złącza Zróżnicowana struktura na całej długości połączenia

• Stal w rdzeniu próbki

charakteryzuję się

W strefie połączenia

Lokalnie występują

"uwięzienia" Ti w Al

drobnoziarnistą strukturą

o charakterze pasmowym

występuje silna tekstura

metalograficzna zgodna

z kierunkiem odkształcania

połączenia prowadzące do

ferrytyczno-perlityczną

Podsumowanie i Wnioski



Jakość, kształt złącza jak i struktura poszczególnych materiałów w jego obrębie wynika z dwóch czynników:

parametrów procesu łączenia, wliczając w to siłę wybuchu, szybkość odkształcenia, sposób przygotowania próbek, ich wzajemne położenie doboru materiałów o odpowiednich właściwościach

Detal nr 1, mikrostruktura stali

Wnioski

- W ramach prac teoretycznych dokonano oceny możliwości wytwarzania elementów ze stopów lotniczych z wykorzystaniem technologii kształtowania z dużymi prędkościami. W szczególności analizowano proces wyciskania hydrostatycznego oraz łączenia i kształtowania metodą wybuchową.
- Stwierdzono, że wyciskanie hydrostatyczne jest atrakcyjne z punktu widzenia aplikacyjnego, ze względu na możliwość jednoczesnego kształtowania elementów oraz ich mikrostruktury lotniczych stopów aluminium i tytanu.
- Zaproponowana metoda wyciskania hydrostatycznego pozwoli na uzyskanie elementów ze stopów Ti6Al4V oraz Al-Li o lepszej kombinacji właściwości wytrzymałościowych i plastyczności w porównaniu do obecnie dostępnych wytwarzanych konwencjonalnymi technikami.
- Zastosowanie technik wybuchowych umożliwi otrzymanie wysokiej jakości złączy metali i ich stopów do zastosowań lotniczych trudnych do uzyskania innymi metodami.

Przykłady zastosowania

- wyciskanie hydrostatyczne (HE) elementy przewodów paliwowych
- łączenie metodą wybuchową elementy Mixera







Detal nr 3 : plytka stal - tytan - aluminium





Przewody paliwowe

Mixer wyprodukowany w WSK Rzeszów

Wskaźniki realizacji celów projektu

Konferencje

- Gontarz A., Pater Z., Tofil A.: Analiza metod kształtowania plastycznego wałka ze stopu Ti-6AI-4V X Miedzynarodowa Konferencja - Tytan i jego stopy, 14-16 września 2009 Inżynieria Materiałowa 2009, nr 5, vol. 171, str. 400-403
- Stop tytanu Ti-6AI-4V w procesach przepychania obrotowego Bartnicki J.: Międzynarodowa Konferencja - Forming 2009, 9- 12.09.2009 r. ZakopaneHutnik 2009, nr 8, str. 557-558
- Adamus J., Lacki P.: Forming of the Titanium Elements by Bending. IWCMM 19 (International Workshop on Computational Mechanics of Materials), Book of Abstracts, str. 95-96

Publikacje

- Adamus J., Lacki P.: Modelowanie procesu wykrawania blach tytanowych. Hutnik -Wiadomości Hutnicze, 76 (8), 2009, str. 552 - 554
- Bartnicki J.: Proces przepychania obrotowego wałka stopniowanego ze stopu *Ti6Al4V* Hutnik - Wiadomości Hutnicze, 76 (8), 2009, str. 557 - 559
- Adamus J.: Tytan i jego stopy jako materiał stosowany na elementy tłoczone. Inżynieria Materiałowa Index: R.30 nr 5 str. 310-313

Prace mgr, dr, hab.

• Rozpoczęto realizację pracy dyplomowej nt.: "Analiza modelowych złączy metali i ich stopów otrzymywanych metodą zgrzewania wybuchowego" Autor: Kamil Wasiluk,

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO