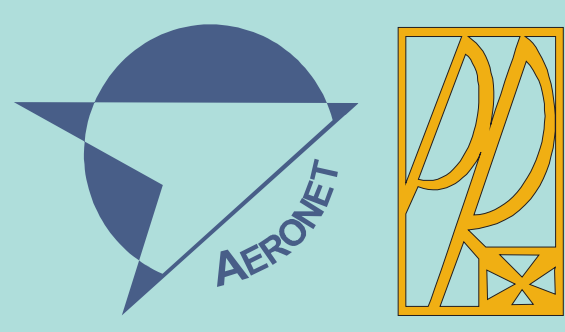


Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
I PANELE EKSPERTÓW
25- 26 Maja 2015

ZB 15

Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych

Unconventional technologies of joining elements of aeronautical constructions

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Częstochowska, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

Wyniki badań Results

Zgrzewanie tarciove z przemieszaniem (FSW) cienkich blach ze stopów aluminium i magnezu
Friction Stir Welding of thin sheets of Al and Mg alloys

Wykonanie prób zgrzewania tarciowego FSW cienkich blach stopów aluminium 7075-T6, 2024-T3 grubości 0,4 mm oraz blach magnezowych AZ 31 grubości 0,5 mm, oraz ocena ich wytrzymałości.

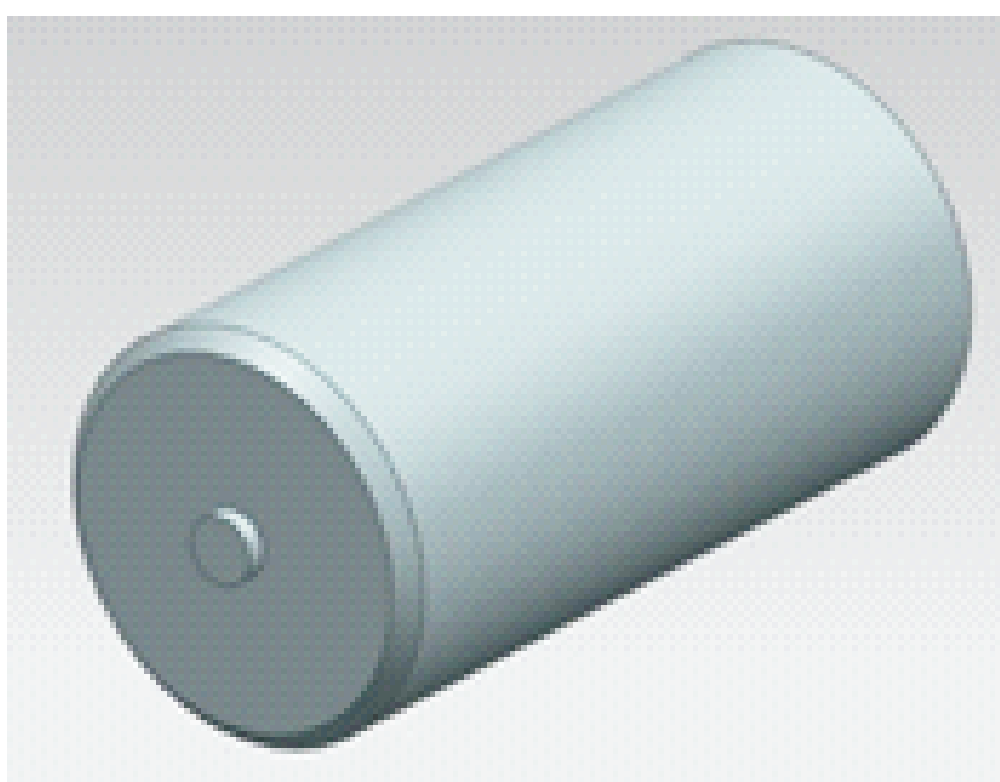
Performing friction stir welding FSW using 2024-T3, 7075-T6 and AZ31 alloys of 0,4 mm and 0,5 mm in thickness.

Cel: testy zgrzewania cienkich blach grubości 0,4 i 0,5 mm stopów aluminium i magnezu. Analiza złącza pod kątem wytrzymałości w stosunku do materiału rodzimego. Przeprowadzenie prób rozciągania na maszynie wytrzymałościowej firmy Zwick/Roell Z100.

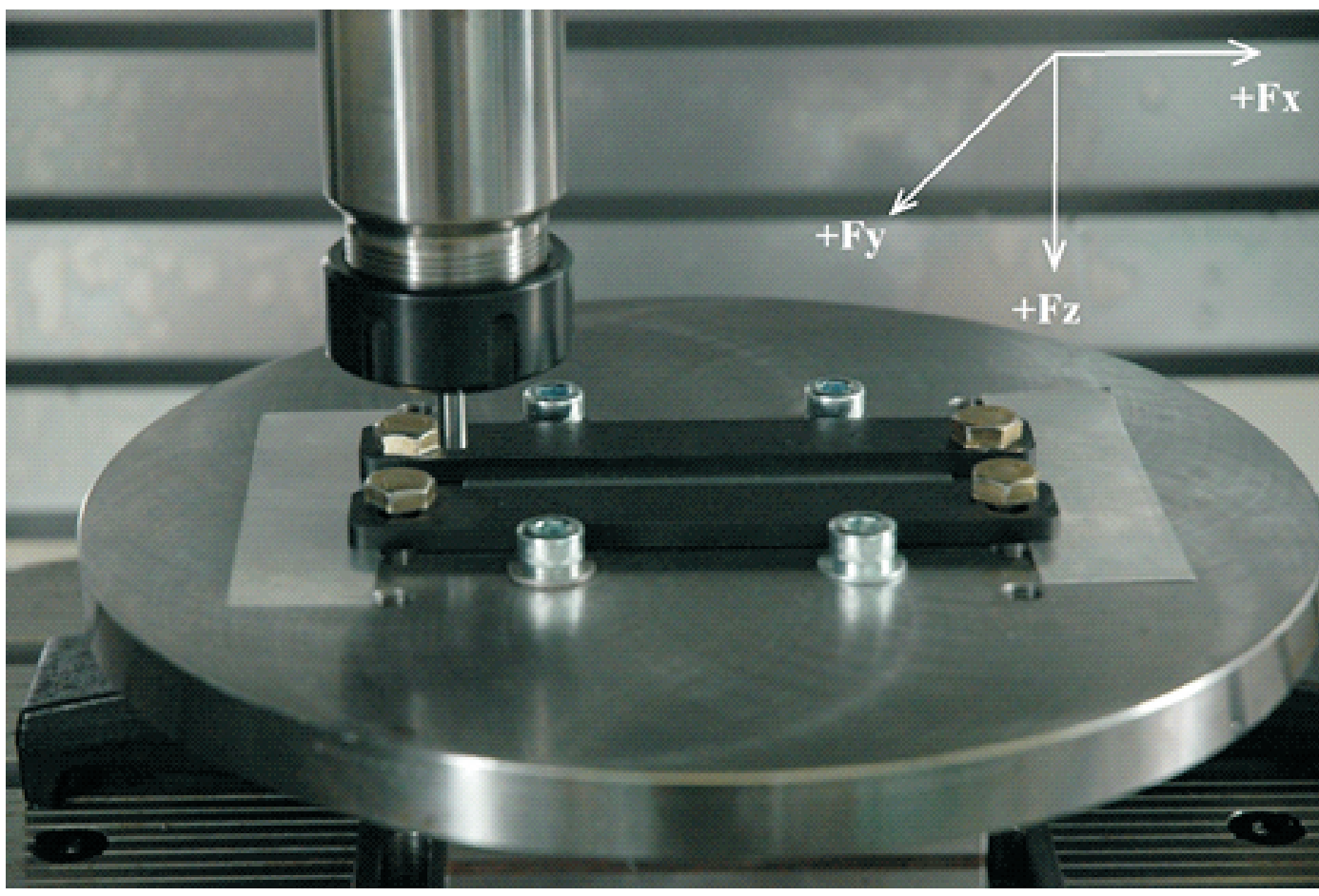
Do zgrzewania posłużyły blachy stopu aluminium 7075-T6, 2024-T3 grubości 0,4mm oraz magnezu AZ31 grubości 0,5mm. Połączenie zostało wykonane na odpowiednio przygotowanej frezarce konwencjonalnej, za pomocą samodzielnie wykonanego narzędzia ze węgla spiekane o średnicy wieńca opory 8 mm, średnicy trzpienia 1 mm i wysokości trzpienia 0,3 mm. Zgrzewanie blach było realizowane ze następującymi parametrami: prędkość obrotowa narzędzia 2240 obr/min, prędkość posuwu narzędzia odpowiednio 50, 70 i 100 mm/min, narzędzie zorientowane prostopadłe do płaszczyzny blach

Goal: The present study is devoted to the welding of the thin alloy sheet of 0,4 mm and 0,5 mm aluminum and magnesium, respectively. The formed joints have been presented in the table below. The next step was to analyze the strength of the joint relative to the parent material. Tensile test was carried out on an Zwick/Roell Z100 testing machine.

Welding has been performed using 2024-T3, 7075-T6 and AZ31 alloys of 0,4 mm and 0,5 mm in thickness. The connection has been made on properly prepared a conventional milling machine, using self-made carbide tool. The tool dimensions are: 8 mm shoulder in diameter, 1 mm pin in diameter and 0,3 mm pin height. Metal sheet welding was carried out with the following parameters: tool speed 2,240 rev / min, tool feed rate of 50, 70 and 100 mm / min, zero angle tilt tool.



Rys.1. Widok użytego narzędzia do zgrzewania FSW
Fig.1. View of the tool used to FSW process



Rys.2. Stawisko badawcze
Fig.2. Test station

Tab.1. Otrzymane złącza FSW stopów aluminium grubości 0,4mm i magnezu grubości 0,5mm
Tab.1. Obtained FSW joint of aluminum and magnesium alloys of 0.4mm and 0.5mm in thickness

Tab.2. Parametry technologiczne i właściwości mechaniczne otrzymanych połączeń FSW oraz materiału rodzimego
Tab.2. Technological parameters and mechanical properties of received FSW joints and parent material

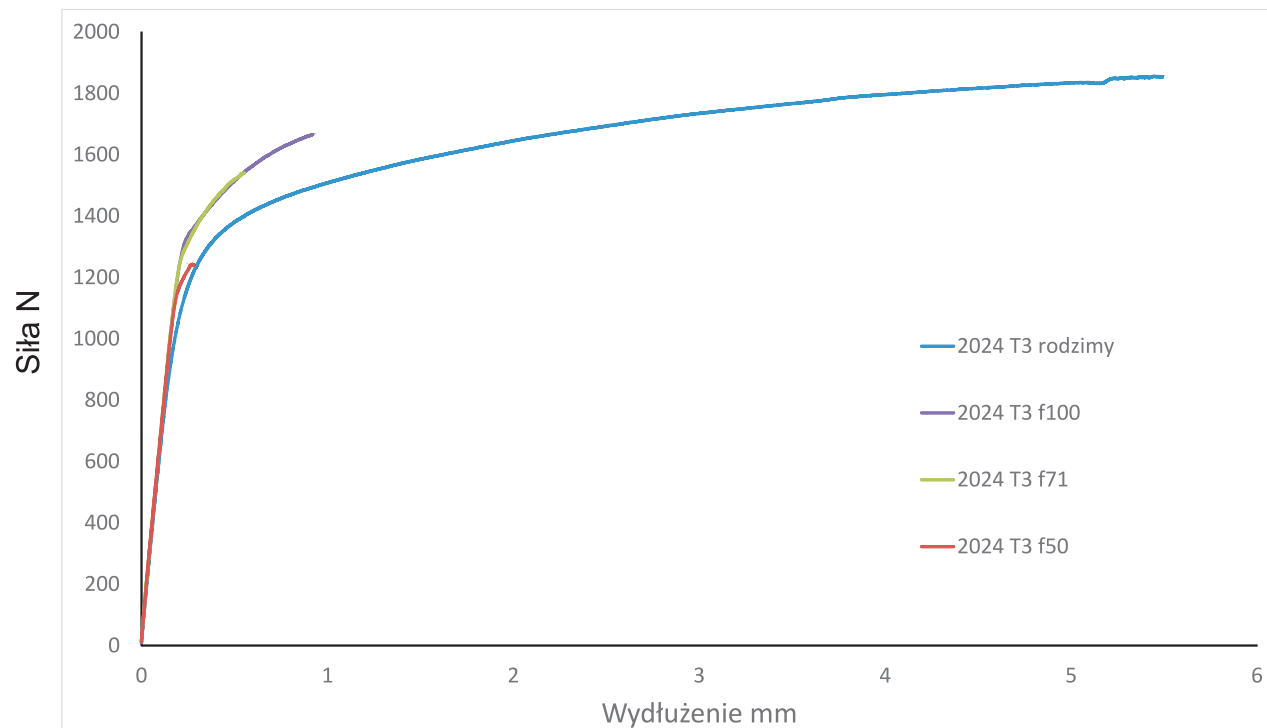
Materiał (grubość)	Obroty narzędzia [obr/min]	Posuw narzędzia [mm/min]	Wytrzymałość R _m [MPa]	Granica plastyczności R _{0,2} [MPa]	Wydłużenie względne [%]	Efektywność połączenia [%]
2024 T3 (0,4mm)	2240	50	248	211	0,54	65
		71	308	275	1,1	81
		100	332	316	1,8	87
materiał rodzimy			380	253	11	
7075 T6 (0,4mm)	2240	50	283	278	0,55	53
		71	344	314	1,35	64
		100	356	316	1,5	66
materiał rodzimy			535	457	9,2	
AZ 31 (0,5mm)	2240	50	197	172	1	78
		71	151	150	0,9	60
		100	142	141	0,6	56
materiał rodzimy			253	195	9,4	

Próba rozciągania została przeprowadzona na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z100 zgodnie z normą PN-EN 10002-1 (ASTM E8). Zostały wykonane próbki materiału rodzimego oraz próbki po zgrzewaniu FSW. Prędkość rozciągania wynosiła 10 mm/min . Wydłużenie próbki było mierzone za pomocą ekstensometru.

Tensile test was performed on the Zwick/Roell Z100 testing machine according to PN-EN 10002-1 (ASTM E8) norm. They have been tested 2 types of samples - the joined material and parent material. Stretching speed was 10 mm/min. The elongation of the sample was measured with an extensometer.

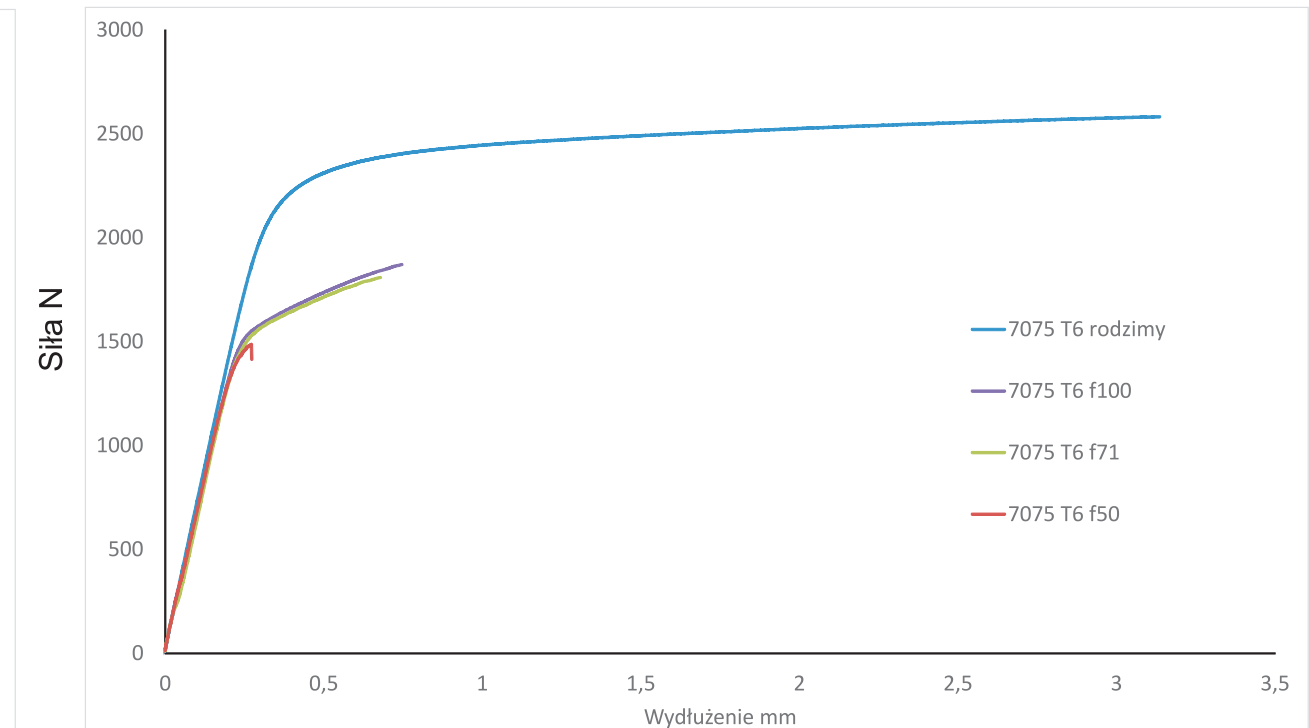


Rys.3. Widok próbek po próbie rozciągania
Fig.3. Samples view after the tensile test

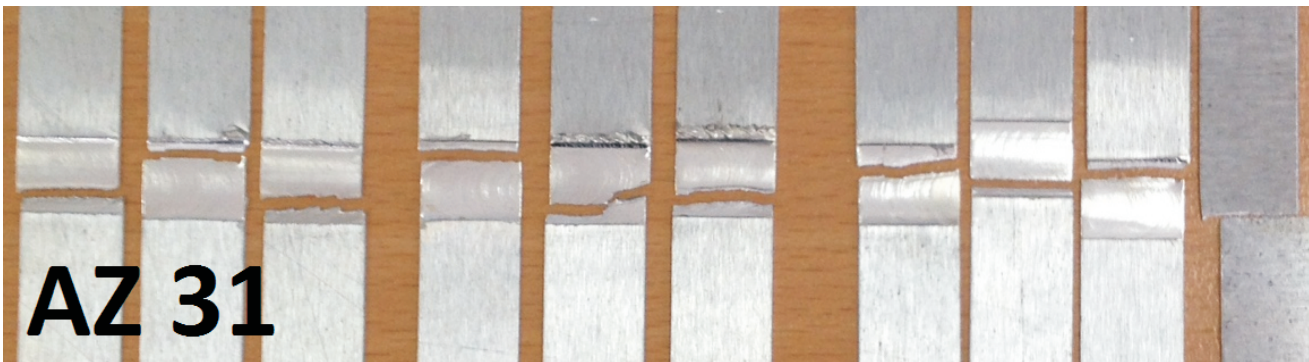


Rys.5. Zależność siły rozciągania w funkcji wydłużenia próbki stopu Al7075-T6
Fig.5. Force as a function of elongation for 7075-T6 alloy

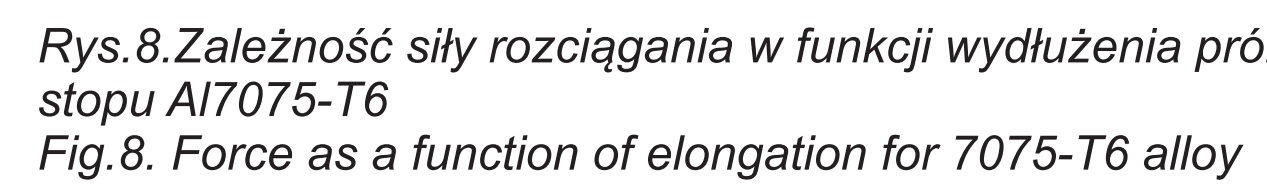
Rys.4. Widok próbek po próbie rozciągania. Fig.4. Samples view after the tensile test



Rys.6. Zależność siły rozciągania w funkcji wydłużenia próbki stopu Al7075-T6
Fig.6. Force as a function of elongation for 7075-T6 alloy



Rys.7. Widok próbek po próbie rozciągania
Fig.7. Samples view after the tensile test



Rys.8. Zależność siły rozciągania w funkcji wydłużenia próbki stopu Al7075-T6
Fig.8. Force as a function of elongation for 7075-T6 alloy

Wnioski Conclusions

1. W przeprowadzonych próbach udało się uzyskać poprawne połączenia.
2. Dla stopu 2024-T3 najlepszą efektywność połączenia wynoszącą 87% w stosunku do materiału rodzimego, uzyskano przy posuwie narzędzia wynoszącym 100 mm/min.
3. Dla stopu 7075-T6 efektywność złącza wynoszącą 66% uzyskano dla posuwu 100 mm/min.
4. W stopie magnezu AZ 31 efektywność złącza na poziomie 78% uzyskano przy posuwie narzędzia wynoszącym 50 mm/min.
5. Podczas zgrzewania FSW cienkich blach stopów aluminium stosowanie niskich wartości posuwu wpływa niekorzystnie na wytrzymałość złącza i stabilność procesu, odwrotnie w przypadku stopów magnezu.
6. W przypadku stopu magnezu wymagane jest zwiększenie prędkości obrotowej w celu poprawy stabilności procesu i doprowadzeniu w wyniku tarcia do uplastycznienia strefy połączenia poprzez wytworzenie odpowiedniej temperatury.

1. In performance tests obtained the correct joints
2. For the alloy 2024-T3 best joints efficiency of 87% in relation to parent material was achieved with 100 mm / min tool feed rate.
3. For the alloy 7075-T6 best joints efficiency of 66% in relation to parent material was achieved with 100 mm / min tool feed rate.
4. For the alloy AZ31 best joints efficiency of 78% in relation to parent material was achieved with 50 mm / min tool feed rate.
5. During FSW process of thin sheets of aluminum alloys use low feed rate value adversely affects to the strength of the joints and process stability, vice versa in the case of magnesium alloys.
6. In the case of the magnesium alloy is required to increase the rotational speed to improve the stability of the process and bringing to plastic deformation of the joint zones by generating the proper temperature.

Wyniki badań Results

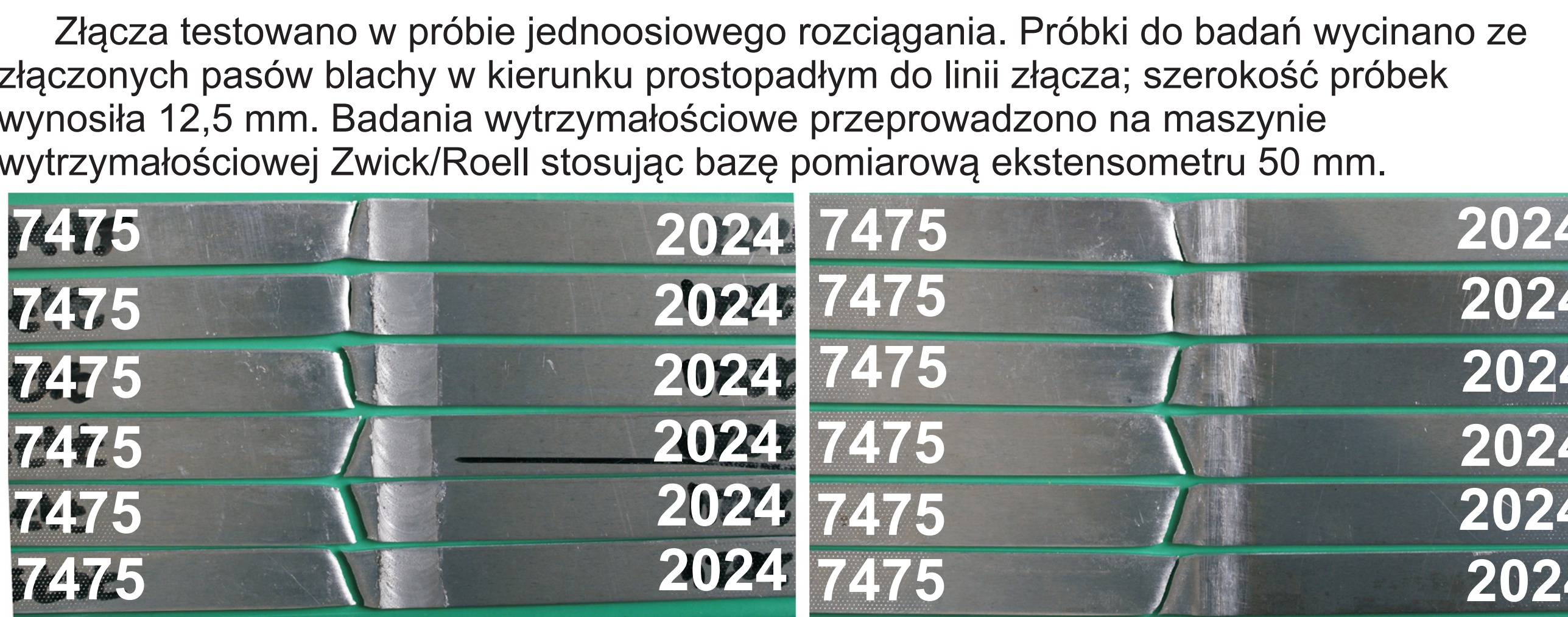
Zgrzewanie tarciove z mieszaniem różnych stopów lotniczych
Friction stir welding of dissimilar aviation alloys

Cel: Proces zgrzewania tarciowego z mieszaniem (FSW) jest z powodzeniem stosowany do łączenia elementów wykonanych z tych samych materiałów. Łączenie elementów wykonanych z różnych materiałów jest uzasadnione ze względu na szeroki zakres potencjalnych aplikacji w konstrukcjach lotniczych. Celem badań było określenie możliwości łączenia metodą FSW różnych materiałów.

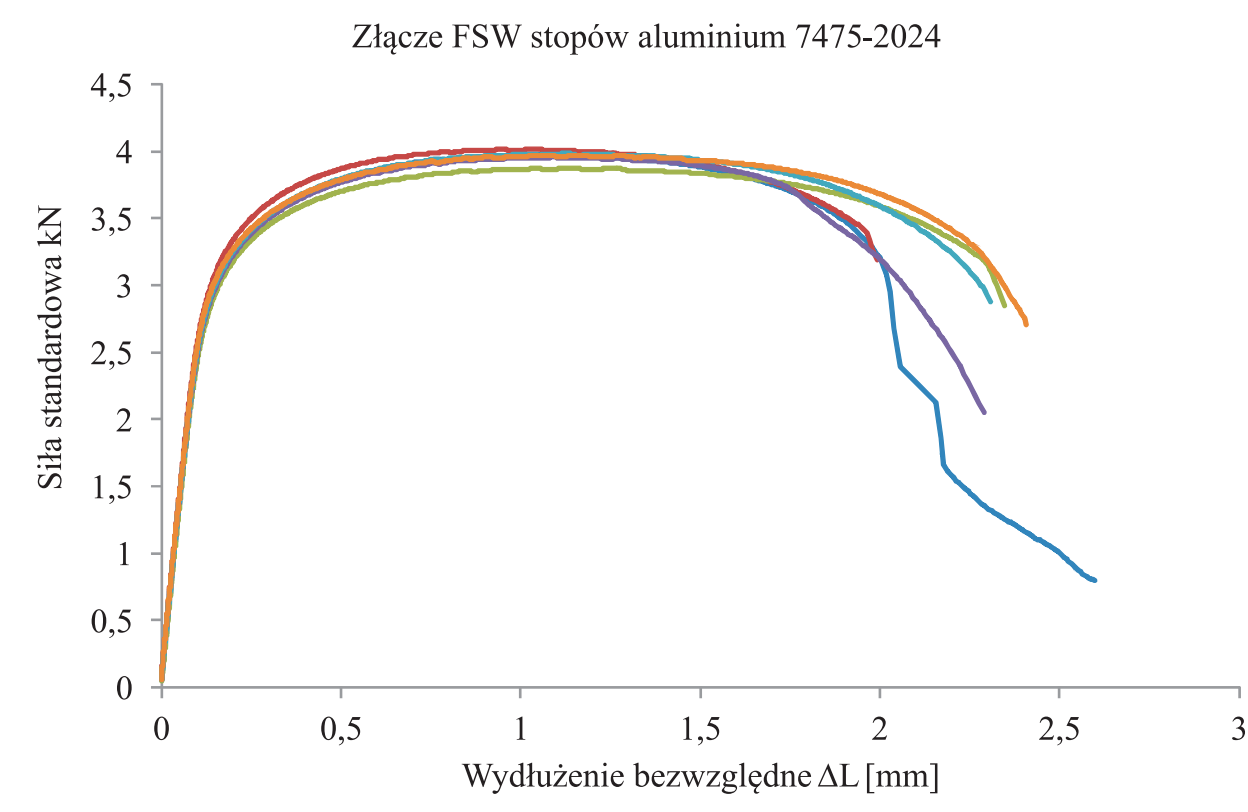
Goal: The process of friction stir welding (FSW) has been successfully used to welding components made from the same materials.Joining elements made from various materials is justified because a wide range of potential applications in aircraft construction. The aim of the study was to determine the possibility of joining different materials using FSW.

Metodyka badań, materiały i narzędzia

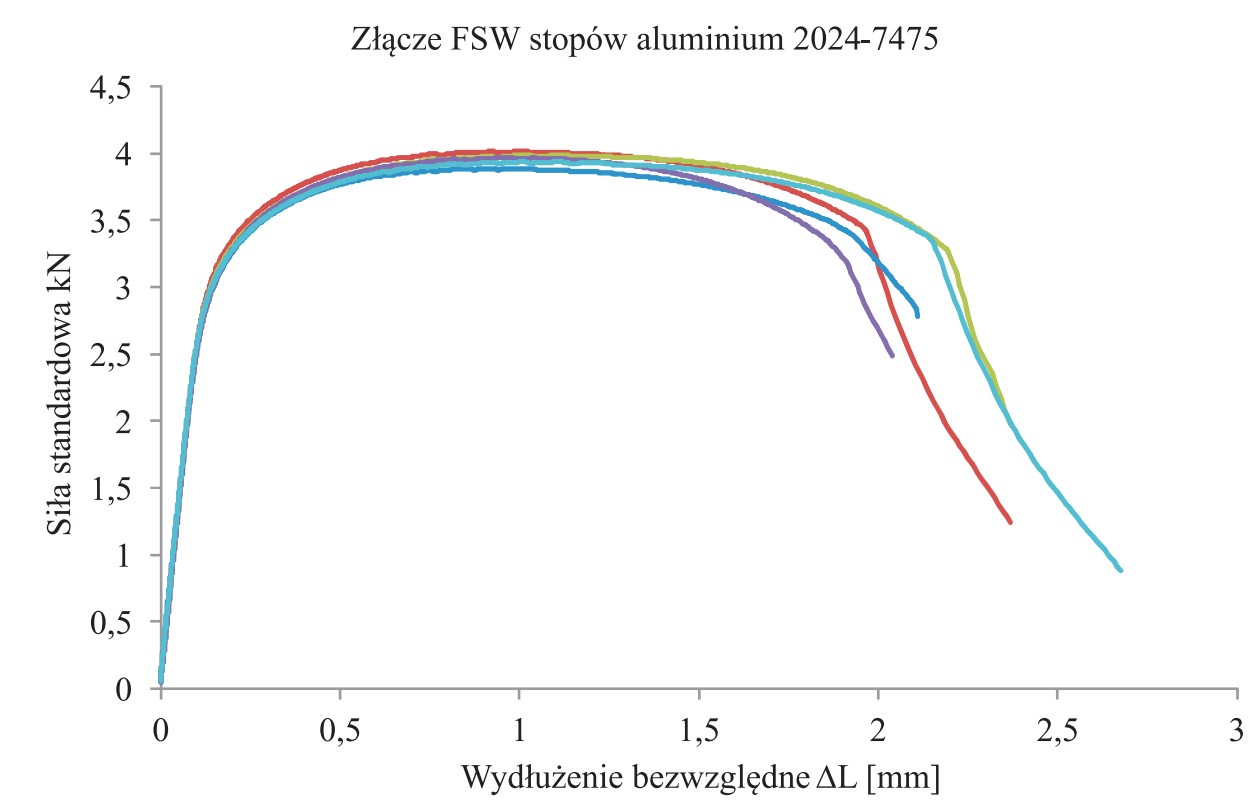
Proces zgrzewania przeprowadzono na uniwersalnej frezarce pionowej. Parametrami zmiennymi była prędkość posuwu stołu frezarki oraz prędkość obrotowa narzędzia (wrzeczona frezarki). Stosowano narzędzia o wymiarach: średnica cylindrycznego trzpienia roboczego $\phi 4$ mm, średnica kołnierza $\phi 10$ mm, wysokość trzpienia 1,5 mm, powierzchnia podstawy trzpienia stożkowa, o kącie wklęsłości równym 10 stopni. Kąt pochylenia narzędzia wynosił 3 stopnie względem normalnej do powierzchni blach. W badaniach stosowano trzy materiały: stopy aluminium 2024 i 7475 oraz stop magnezu AZ31. Grubość wszystkich blach wynosiła 1,6 mm. Wykonywano połączenia doczołowe pasów o wymiarach: szerokość 100 mm, długość 300 mm (wymary próbki po złączeniu 200 mm x 300 mm). Złącza dwóch różnych materiałów wykonywano na dwa sposoby zamieniając ich położenie względem linii złącza. Wynikało to z różnych warunków formowania złącza po stronie natarcia i po stronie spływu. W opisie złączy stosowano zasadę: pierwszy z wymienionych materiałów jest po stronie natarcia, drugi po stronie spływu.



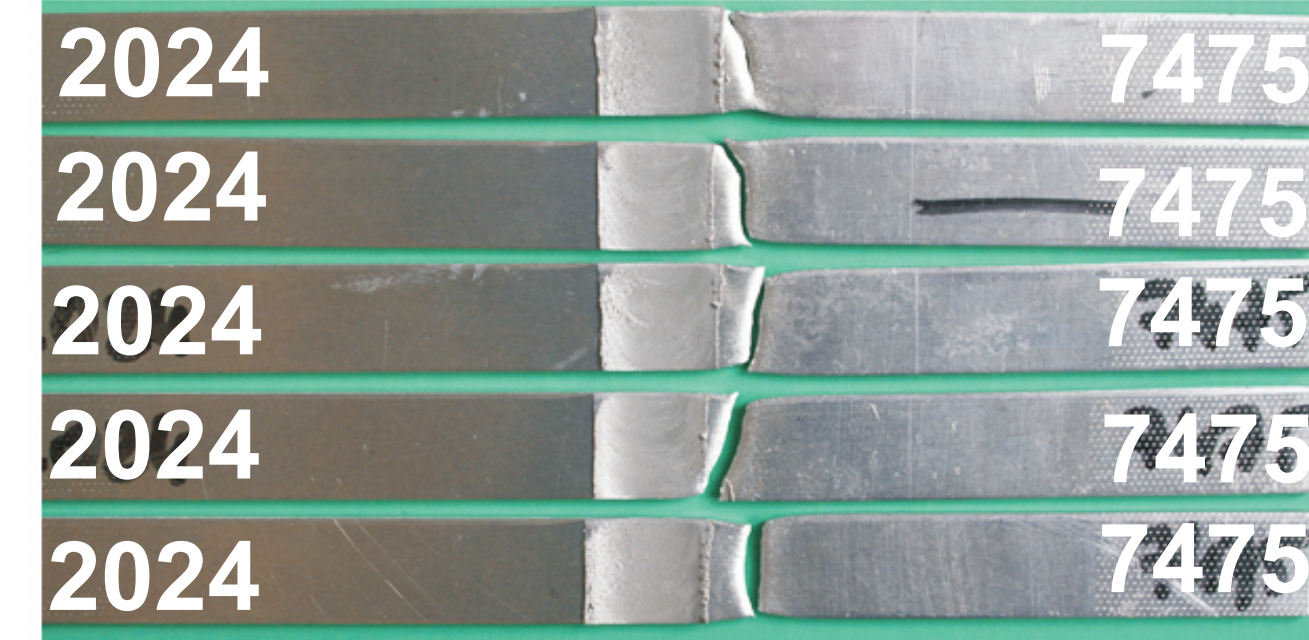
Rys. 9. Obrazy złączy FSW stopów aluminium 7475 - 2024 po próbie rozciągania (parametry zgrzewania: posuw – 71 mm/min, obroty – 1120 obr./min)
Fig. 9. Images of the FSW joints of aluminum alloys 7475 - 2024 after tensile test (manufacturing parameters: rate of feed – 71 mm/min, rotation – 1120 rot/min)



Rys.10. Charakterystyki mechaniczne złączy FSW stopów aluminium 7475 - 2024
Fig.10. Mechanical characteristics of the FSW joints of aluminum alloys 7475 - 2024



Rys.11. Charakterystyki mechaniczne złączy FSW stopów aluminium 2024-7475
Fig.11. Mechanical characteristics of the FSW joints of aluminum alloys 2024-7475



Rys. 12. Obrazy złączy FSW stopów aluminium 2024 – 7475 po próbie rozciągania (parametry zgrzewania: posuw – 71 mm/min, obroty – 1120 obr./min)
Fig. 12. Images of the FSW joints of aluminum alloys 2024 - 7475 after tensile test (manufacturing parameters: rate of feed – 71 mm/min, rotation – 1120 rot/min)



Rys. 13. Charakterystyki mechaniczne złączy FSW stopów magnezu AZ31 i aluminium 7475
Fig. 13. Mechanical characteristics of the FSW joints of magnesium alloy AZ31 and aluminum alloy 7475



Rys. 14. Obrazy złączy FSW stopów aluminium 2024 – 7475 po próbie rozciągania (parametry zgrzewania: posuw – 71 mm/min, obroty – 1120 obr./min)
Fig. 14. Images of the FSW joints of aluminum alloys 2024 - 7475 after tensile test (manufacturing parameters: rate of feed – 71 mm/min, rotation – 1120 rot/min)

Rys. 15. Przykładowe charakterystyki mechaniczne złączy FSW stopu aluminium 7475 ze stopem aluminium 2024 i magnezu AZ 31

Rys. 15. Przykładowe charakterystyki mechaniczne złączy FSW stopu aluminium 7475 ze stopem aluminium 2024 i magnezu AZ 31
Fig. 15. Selected mechanical characteristics of the FSW joints of aluminum alloy 7475 with aluminum alloy 2024 and magnesium alloy AZ31

Wnioski Conclusions

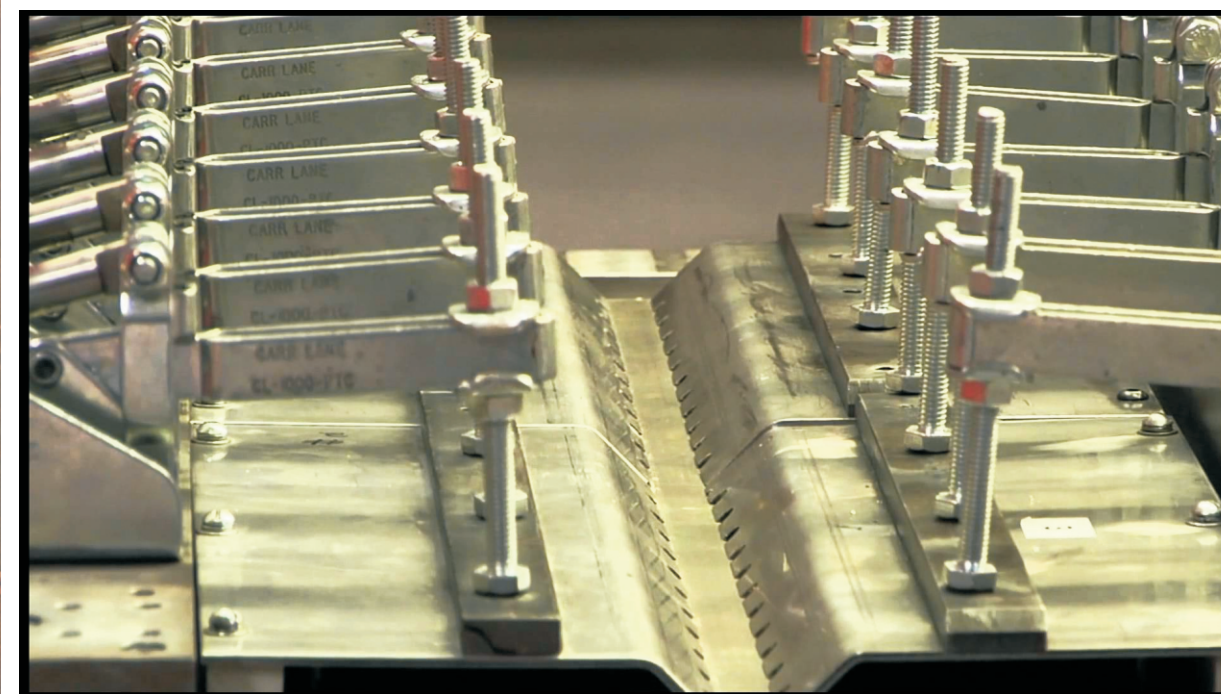
1. Zgrzewanie tarciove z mieszaniem jest metodą łączenia pozwalającą na łączenie różnych materiałów metalicznych, o różnej strukturze krystalicznej i różnych właściwościach mechanicznych.
2. Podczas łączenia stopów aluminium 2024 i 7475 nie jest istotne, który materiał jest po stronie natarcia, a który po stronie spływu.
3. Łączenie stopu magnezu AZ31 ze stopem aluminium 7475 wymaga, aby po stronie natarcia był element ze stopu magnezu, a po stronie spływu element ze stopu aluminium.

- Conclusions
1. Friction stir welding can be applied to joining dissimilar metallic materials, with different crystalline structure and mechanical properties
 2. When joining aluminum alloys 2024 and 7475 it is not important which material is on the advancing side and which is on the retreating side .
 3. When joining magnesium alloy AZ31 with aluminum alloy 7475, magnesium alloy should be on the advancing side and aluminum alloy oh the retreating side.

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation



Łączenie elementów konstrukcji samolotów



Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

PZL Mielec - zgrzewanie elementów konstrukcji poszycia samolotu

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty

1. Śliwa R., Myśliwiec P., **Zgrzewanie tarciove FSW cienkich blach stopów aluminium i magnezu**, OMIS 2015 (listopad 15-18, 2015)

Publikacje

1. Śliwa R., Myśliwiec P., **Zgrzewanie tarciove FSW cienkich blach stopów aluminium i magnezu**, Rudy i Metale Nieżelazne (w przygotowaniu)
2. Balawander T., Penar J.,**Zgrzewanie tarciove mieszaniem stopów aluminium i magnezu**, Rudy i Metale Nieżelazne (w przygotowaniu)

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie:

1. inż. Piotr Myśliwiec, **Zgrzewanie tarciove stopów aluminium i magnezu cienkich blach stosowanych w konstrukcjach lotniczych**, promotor: prof. dr hab. inż. Romana Śliwa
2. inż. Julita Penar, **Zgrzewanie tarciove z mieszaniem stopów aluminium i magnezu**, promotor: dr hab. inż..Tadeusz Balawander