

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

### Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych

#### Unconventional technologies of joining elements of aeronautical constructions

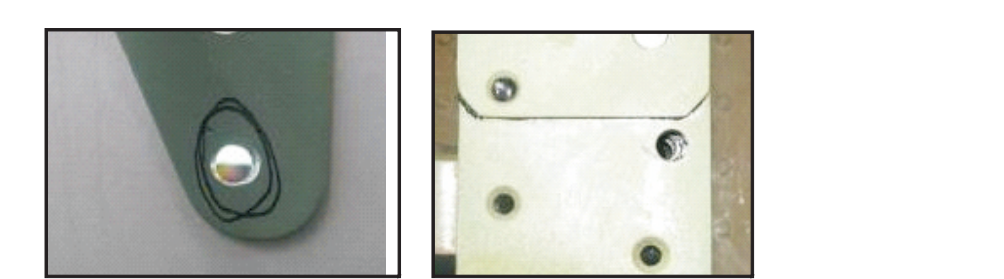
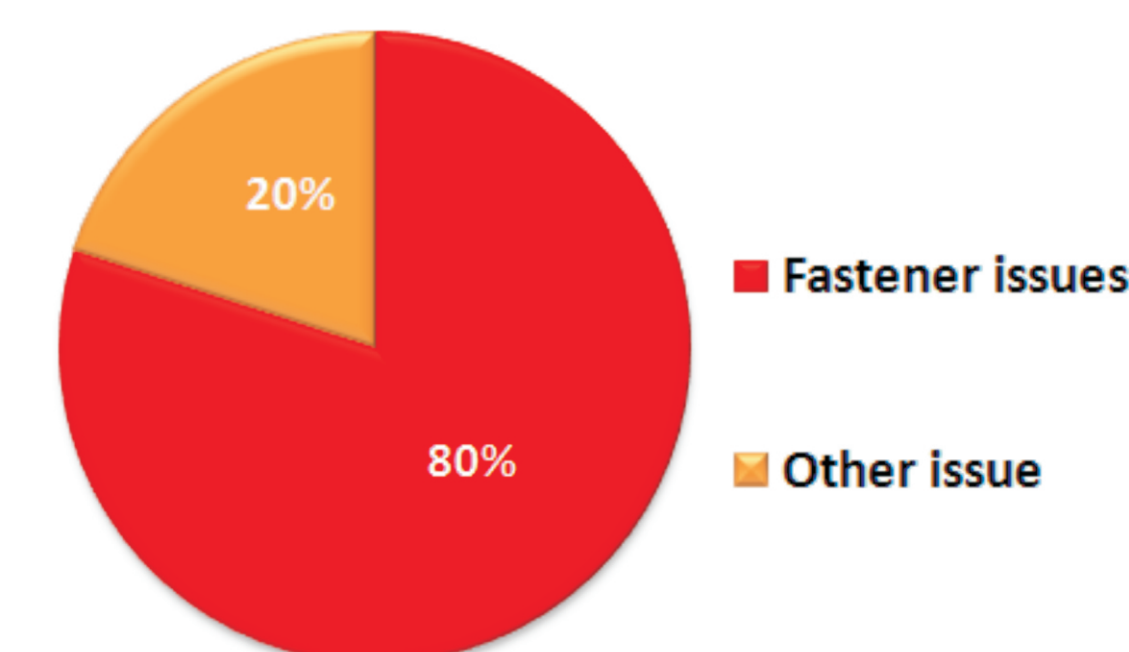
Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Częstochowska, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

#### Wyniki badań

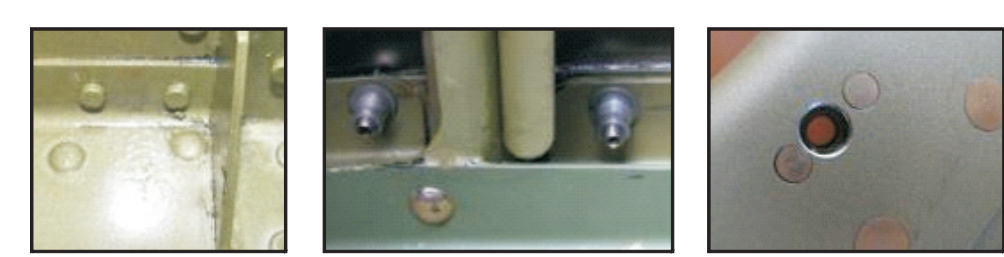
Results

Wpływ cech geometrycznych złączy wykonanych technologią zgrzewania tarcio-ze z przemieszaniem (FSW) na właściwości mechaniczne połączeń cienkościennych metalowych struktur lotniczych

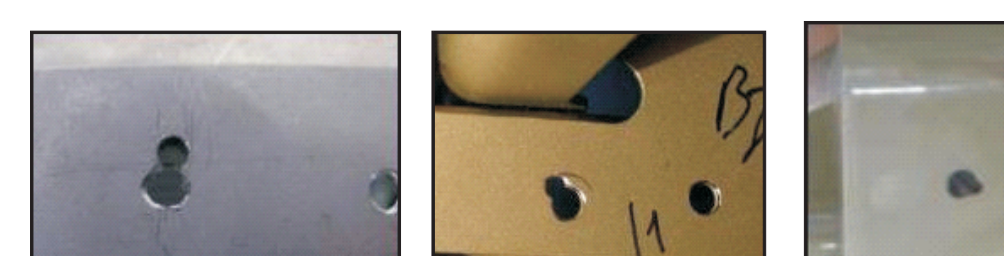
#### Number of Errors in Industrial Practice



Ø Rozbite lub ponadwymiarowe otwory, różna pozycja otworów w pakiecie

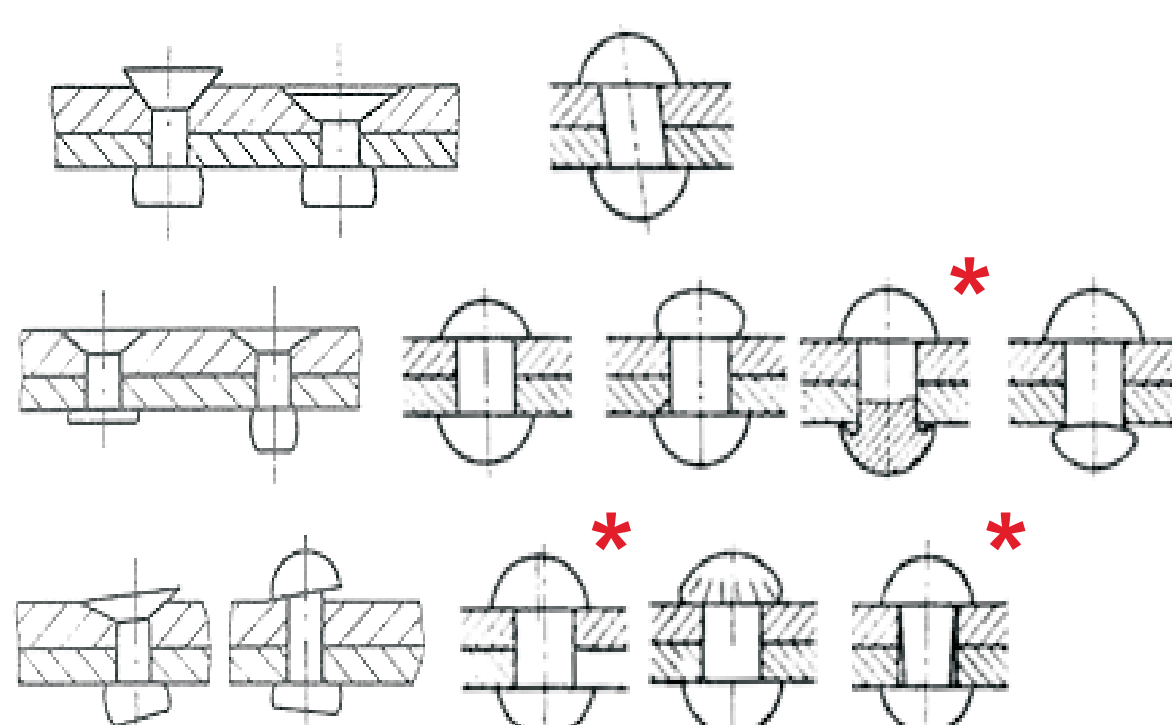


Ø Otwory za blisko krawędzi części łączącej lub zbyt blisko siebie



Ø Otwory mijające się z pilotami

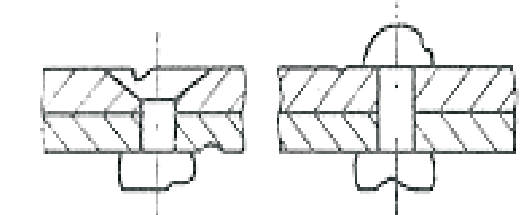
Wadliwie wykonany otwór



Zły dobór długości trzonka nitu

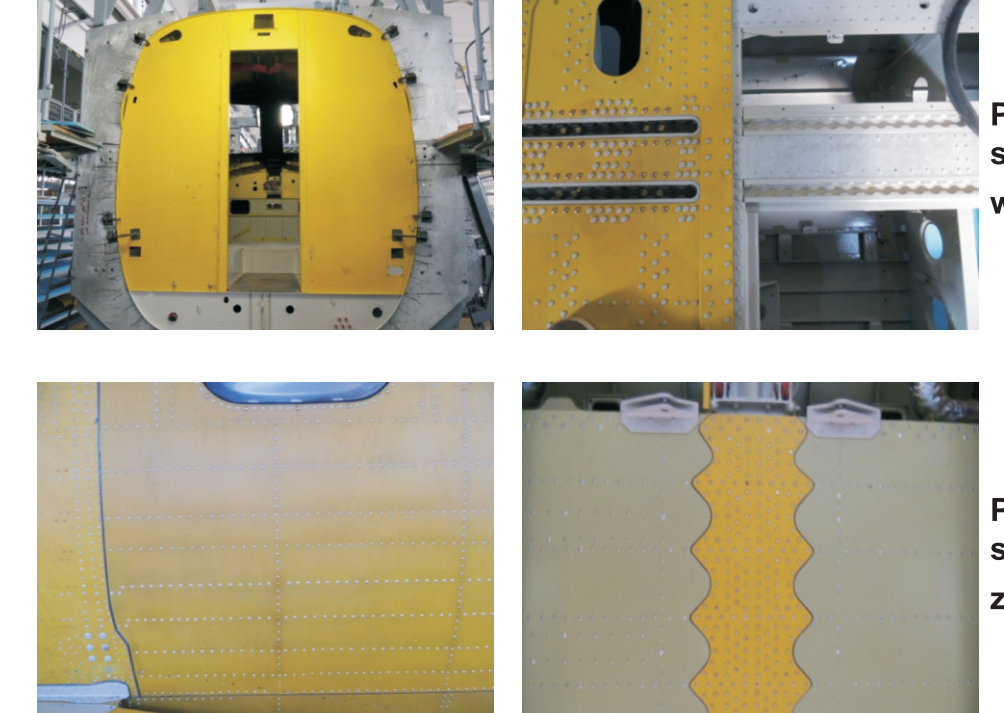
Błędy montera

Uszkodzony łeb lub zakuwka nitu



**- błędy trudne do wykrycia/kontroli w warunkach produkcyjnych**

Przykłady połączeń – obecne rozwiązania

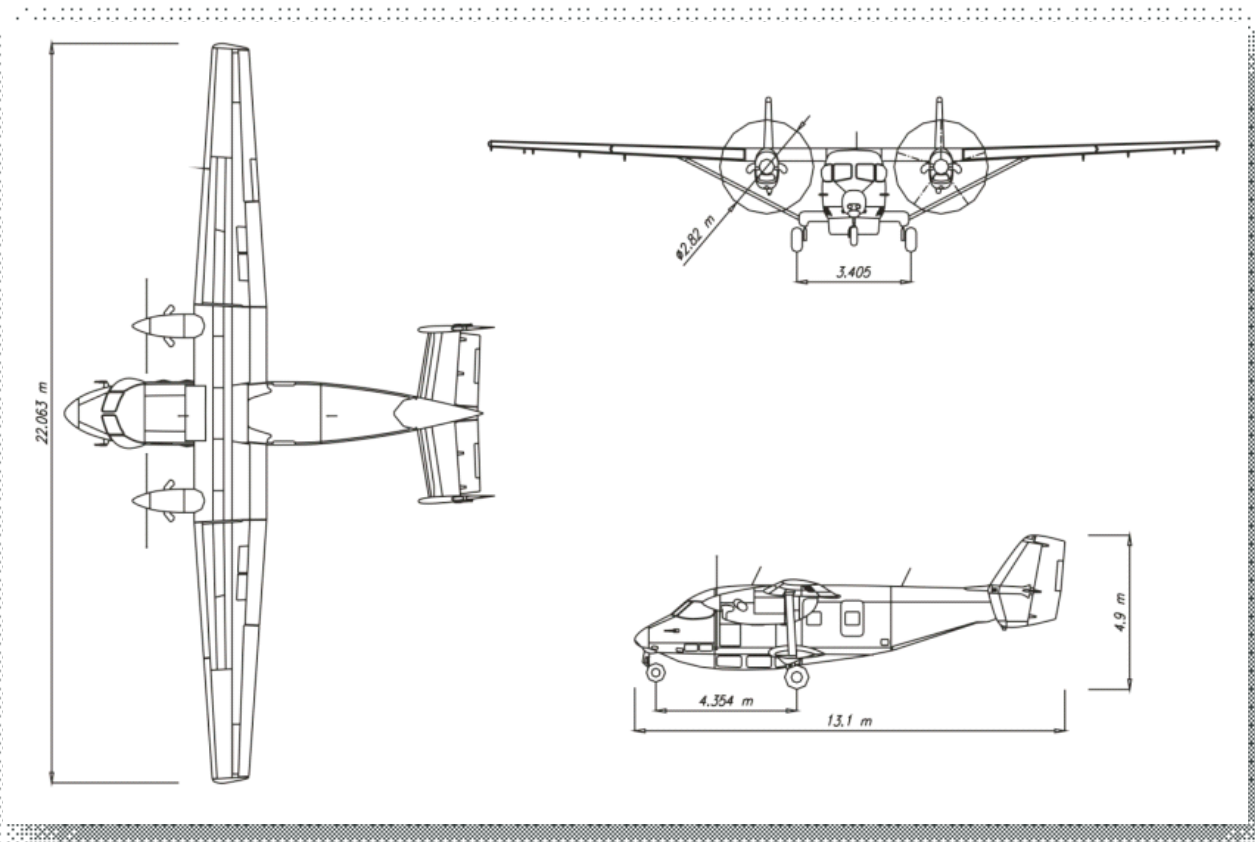


#### Zaawansowana Metalowa Struktura Lotnicza

- ✓ Wytrzymała
- ✓ Łżejsza
- ✓ Ekonomiczniejsza
- ✓ Uproszczona
- ✓ Zwiększająca jakość produktu finalnego
- ✓ O szerokim zakresie stosowania
- ✓ Eliminująca czynnik ludzki

Analiza cienkościennych struktur lotniczych

#### Samolot wielozadaniowy PZL M28-05



No	Materiał	Trochę (mm)
1	AL2024T4	0,6; 0,8; 1; 1,2;
2	AL7050T6	1; 1,2; 1,5; 2; 2,5
3	AL7075T6	1; 1,2; 1,5; 2; 2,5

No	Materiał	R <sub>m</sub> (MPa)	R <sub>0,2</sub> (MPa)	σ <sub>0,2</sub> (MPa)	ATN	Temp. max. (°C)	Trochę (mm)
1	AL2024T4	400-427	269-276	10-15	73		AlCuMgSi
2	AL7050T6	524	455	8	73		AlZnCuMgSi
3	AL7075T6	510-538	434-476	5-8	73		AlZnSiMgCu

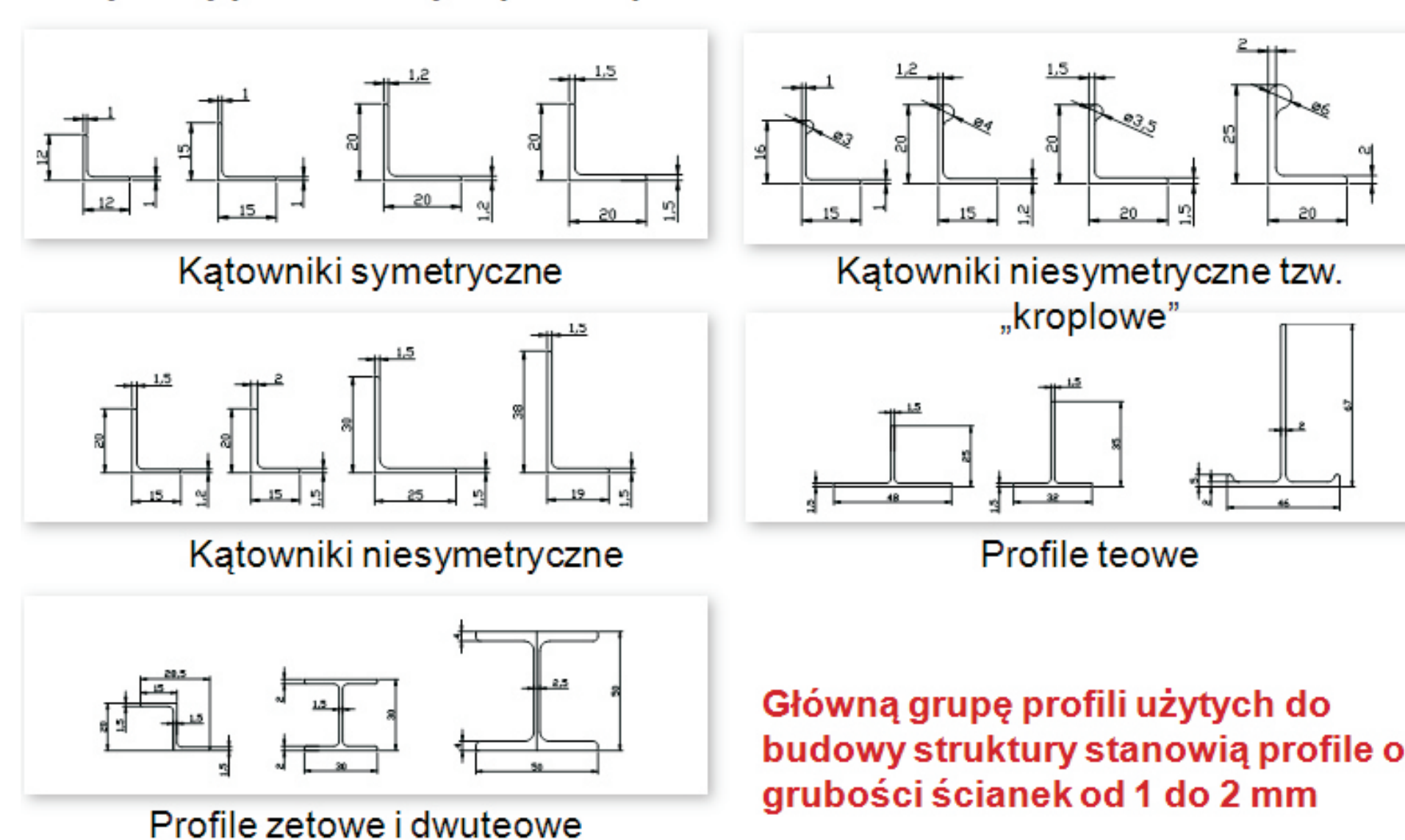
No	Materiał	Cu	Mn	Mg	Si	Fe	Cr	Zn	Ti	Others	Al
1	AL2024	4,3-4,5	0,5-0,6	1,3-1,5	>0,5	>0,5	>0,5				93,30-93,80
2	AL7050	2,0-2,6	0,1	1,9-2,6	0,12	0,15	0,04	5,7-5,8	0,04	0,15	88,20-88,80
3	AL7075	1,2-1,6	>0,5	2,1-2,5	>0,5	>0,5	>0,5	5,6-6,5	>0,5		88,60-89,80

#1 pod kątem grubości materiału pokrycia

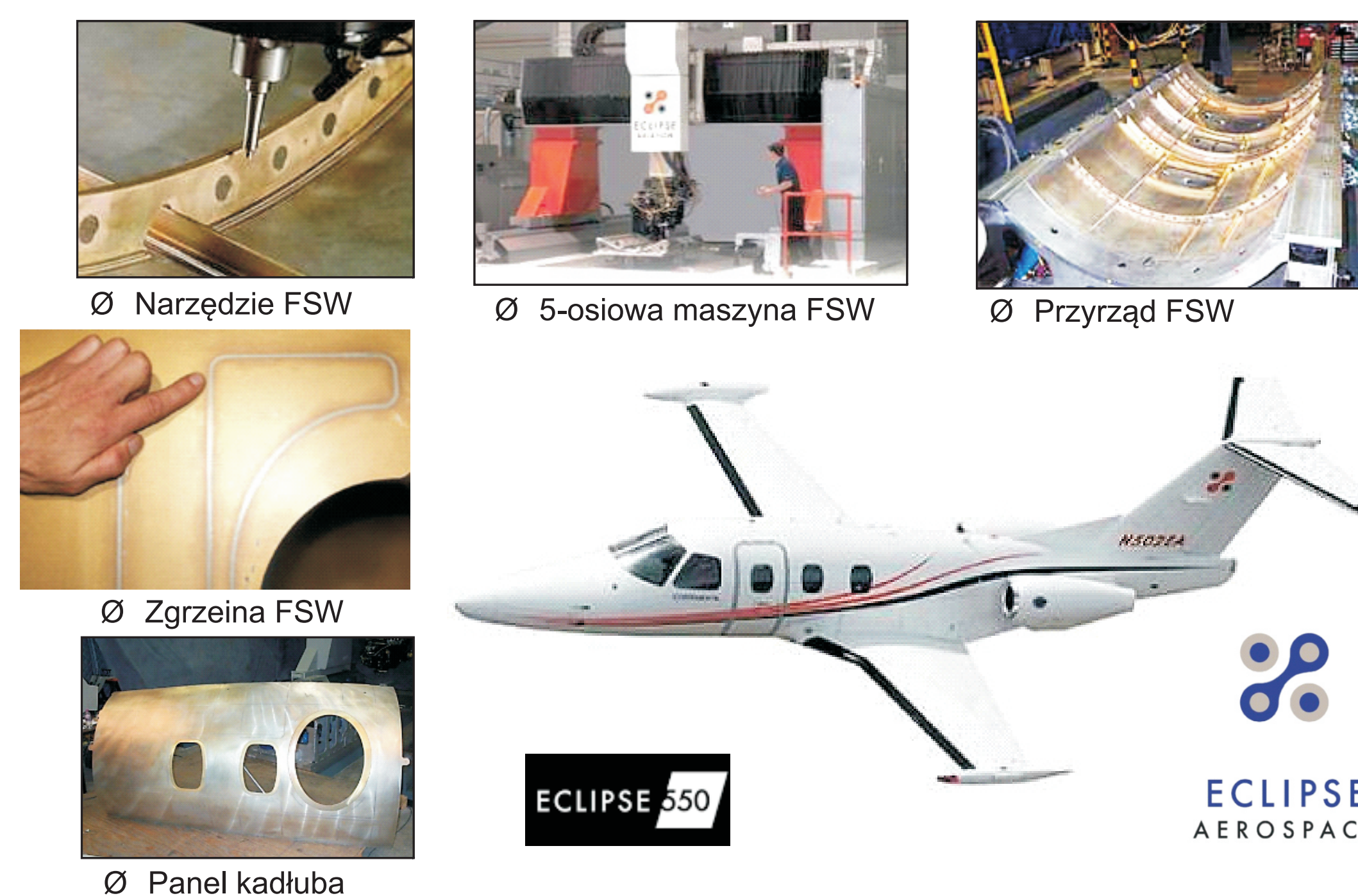


Typowa struktura półskorupowa:  
Wrgęli - obrabiane plastycznie  
Wrgęli siłowe, wsporniki, okucia - obrabiane mech.  
Podłużnice - profile wyciskane

#### Wymiary podstawowych profili i podłużnic s-tu PZL M28-05



Główną grupę profili użytych do budowy struktury stanowią profile o grubości ścianek od 1 do 2 mm



Aktualny stan badań na świecie dla potrzeb przemysłu lotniczego sprowadza się do łączenia blach grubszych 2 do 5 mm (Airbus, Piaggio, Fraunhofer, WTI, Instytut Spawalnictwa, AGH) oraz blach z stopów spawalnych AL.6XXX jako alternatywa względem obróbki ubytkowej lub konwencjonalnych metod łączenia tj. spawanie. Jest to wynikiem zainteresowania w/w producentów zastosowaniem na dużo większych statkach powietrznych oraz statkach posiadających kabiny ciśnieniowane.

Potrzeba PZL Mielec wiąże się z analizą rozwoju produkowanych konstrukcji, która skłania do opracowania w/w technologii na potrzeby produkcji kadłubów statków powietrznych własnych wyrobów, które w tej klasie z wielu względów nie zostaną wyparte przez konstrukcje kompozytowe.

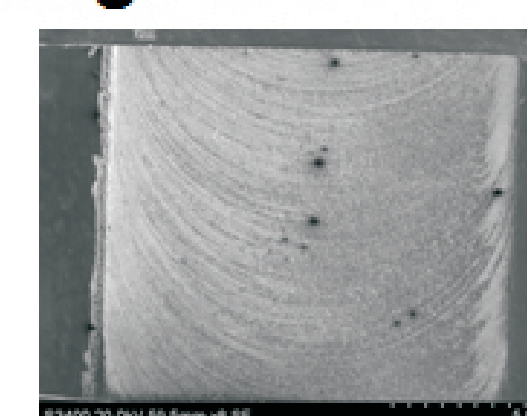
- brak wystarczającej wiedzy nt. metody FSW w zastosowaniu do łączenia blach cienkich ze stopów aluminium stosowanych w lotnictwie o grubości 0,4-1,0 mm, stąd zagadnienie w programie badawczym zadania ZB15 Projektu Kluczowego POIG.01.01.02-00-015/08-00 Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym.

Uwzględniając aktualne potrzeby przemysłu lotniczego producentów statków powietrznych o ciężarze startowym do 10 ton oraz wyniki krytycznej analizy stanu zagadnienia opracowano poniższy

Program badań połączeń FSW cienkich blach ze stopów aluminium:  
Połączenia liniowe FSW i punktowe RFSSW  
Połączenia różnych gatunków materiałów (stopu AL.: 2XXX, 5XXX, 6XXX, 7XXX)  
Połączenia blach cienkich (0,4 mm do 2,5 mm)  
Dobór parametrów procesu (prędkość obrotowa narzędzia, prędkość posuwu narzędzia, pochYLENIE narzędzia, siła osiowa docisku narzędzia)  
Badania jakości złącza (makrostruktura, mikrostruktura, twardość, wytrzymałość mechaniczna – próba rozciągania)

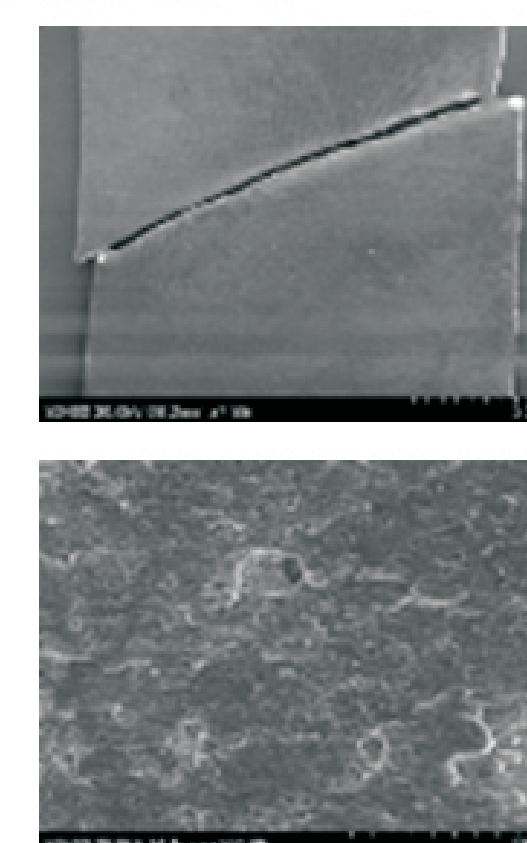
#### Własności mechaniczne materiału rodzimego AL7075

g = 1 mm	R <sub>0,2</sub> , MPa	R <sub>m</sub> , MPa	A <sub>50</sub> , %	Z, %
1	85	194	15,7	40,5
2	85	195	13,8	30,7



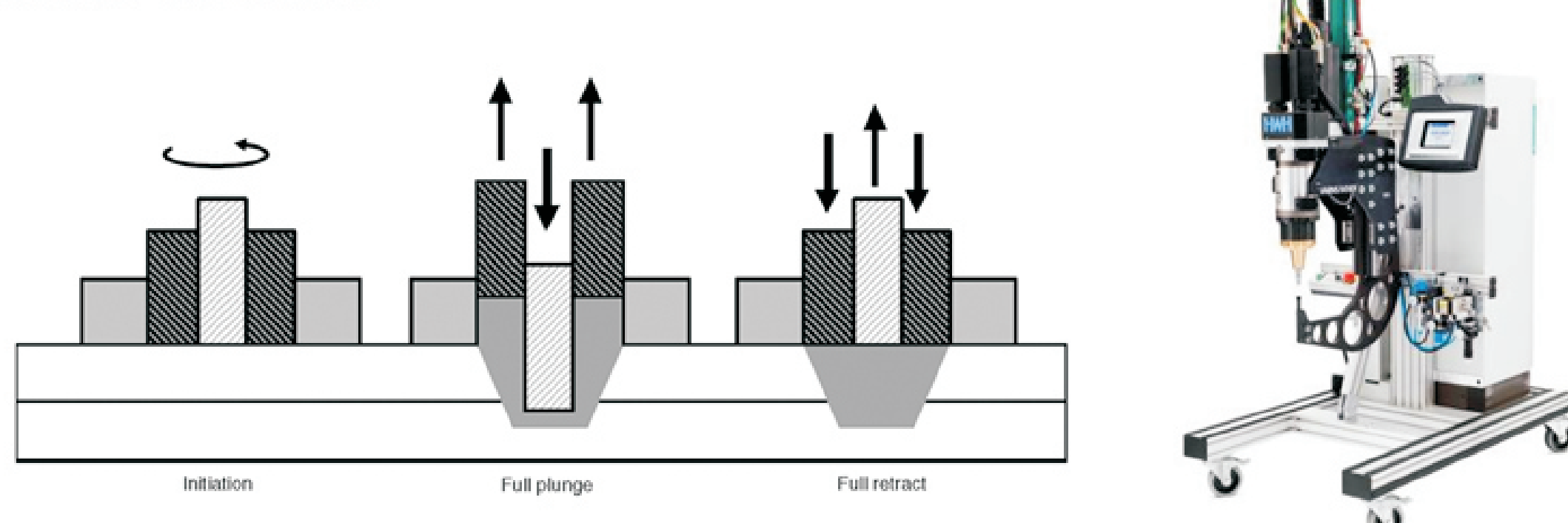
#### Własności mechaniczne zgranej próbki AL7075

g = 1 mm	R <sub>0,2</sub> , MPa	R <sub>m</sub> , MPa	A <sub>50</sub> , %	Z, %	Break out of weld
1	100	196	14,0	45	Break out of weld
2	103	199	12,4	39	Break out of weld
3	106	193	12,9	44	Break out of weld
4	98	194	12,7	38	Break out of weld



Właściwości wytrzymałościowe stref połączeń, większość próbek uległa zerwaniu w obszarze połączenia, co świadczy o osłabieniu tej strefy w stosunku do materiału rodzimego, ale stosunkowo nieznacznym, biorąc pod uwagę rozkład mikrotwardości obejmującej również obszar materiału rodzimego oraz strefy połączenia która praktycznie nie wykazuje istotnych różnic.

#### Proces RFSSW



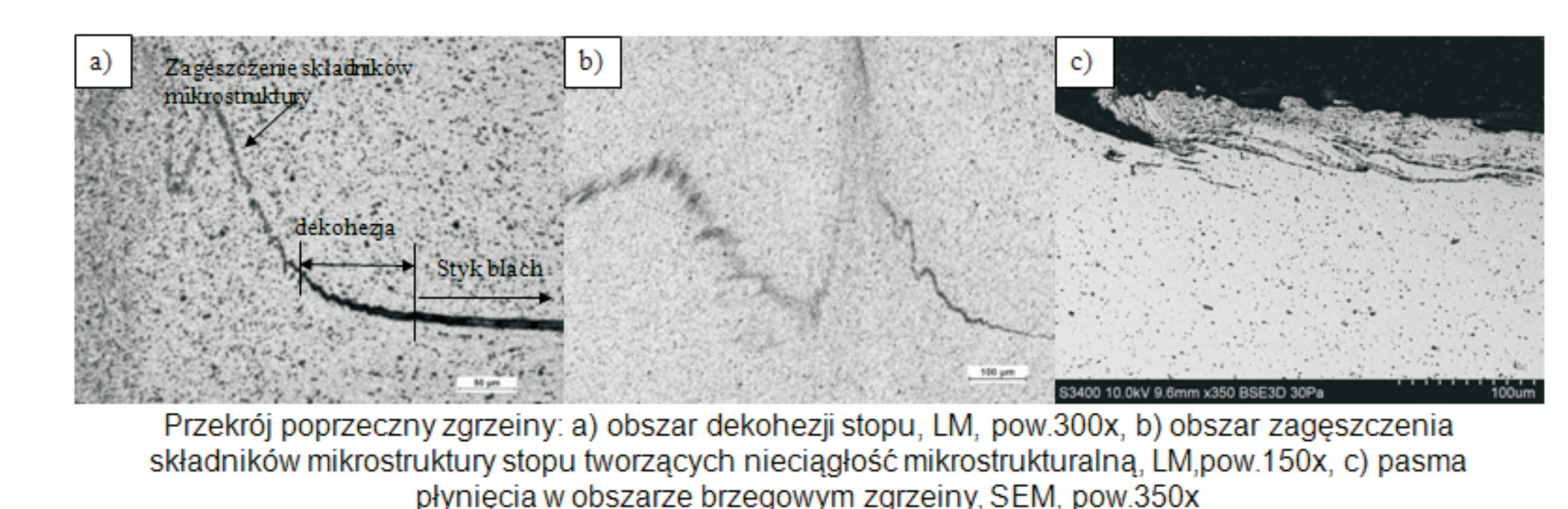
Parametry prowadzenia procesu spawania metodą RFSSW blach grubości 2 mm oraz 0,6 mm ze stopu aluminium 6061T6

Prędkość narzędzia min <sup>-1</sup>	Czas wejścia / wyjścia narzędzia s		
	0.5/0.3	0.7/0.5	1.0/0.8
1500	PCZ-ZB15-243	PCZ-ZB15-244	PCZ-ZB15-245
2000	PCZ-ZB15-246	PCZ-ZB15-247	PCZ-ZB15-248
2500	PCZ-ZB15-249	PCZ-ZB15-250	PCZ-ZB15-251

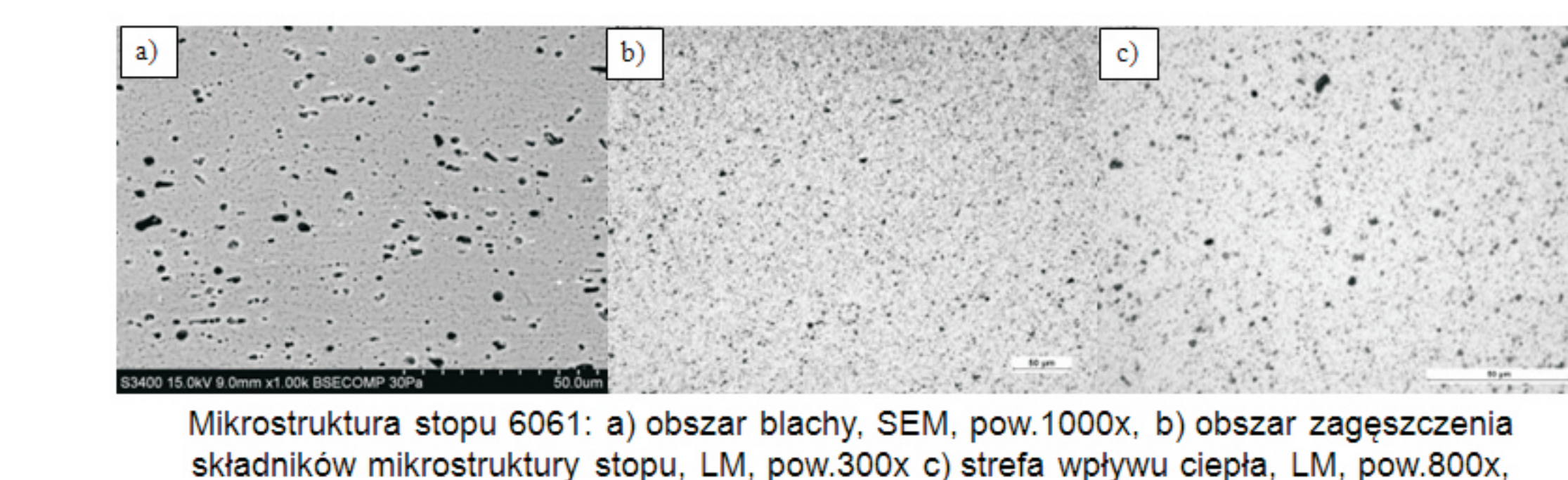
#### Makrostruktura



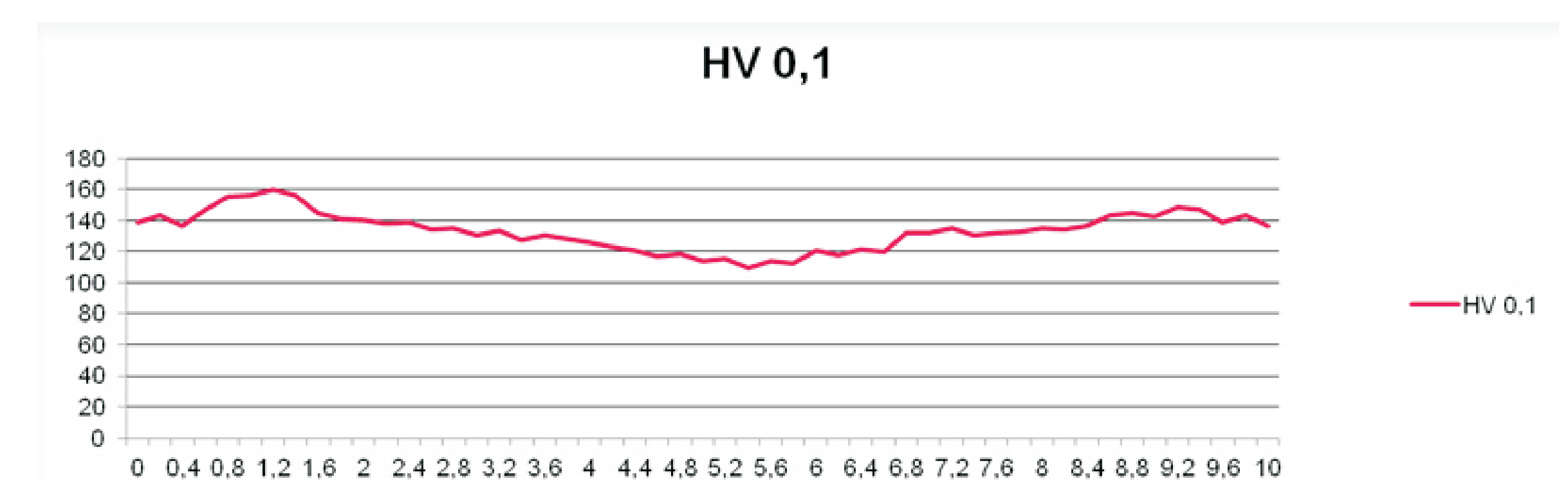
Nie zaobserwowano różnic w wyglądzie połączenia w zależności od zastosowanych parametrów zgrzewania – wszystkie próbki mają podobny wygląd: obszar zgrzeiny posiada okrągły kształt wynikający z kształtu narzędzia, powierzchnia wokół „ślądu narzędzia” jest ciemniejsza od pozostałego obszaru i tworzy ciemnoszary pierścień – strefę wpływu ciepła (rys.1). Nie stwierdzono również różnic w budowie połączenia – w przypadku każdej z badanych próbek zgrzeina posiada charakterystyczny kształt „łódki” z widocznymi liniami płynięcia. Zarówno w obszarze zgrzeiny jak również w strefie wpływu ciepła nie zaobserwowano występowania jakichkolwiek wad typu pęcherze lub inne nieciągłości



W obszarze zgrzeiny występuje obszar dekohezji stopu (rys.a) zlokalizowany od strony średnicy zewnętrznej. W obszarach sąsiadujących bezpośrednio z obszarami występowania dekohezji zaobserwowano nieznaczne zagęszczenie wydzielen fazy międzymetalicznych – składników mikrostruktury. Spowodowało to wystąpienie nieciągłości mikrostruktury (rys.b). Obserwacje mikroskopowe wykazały, że obszar dekohezji to obszar braku spójności zgrzeiny – niepełne zgrzanie, w którym „zamknięte” zostały tenki pochodzące z powierzchni blach, natomiast obszar występowania niejednorodności mikrostruktury odpowiada wystąpieniu pasm płynięcia materiału. Pasma płynięcia stopu widoczne są również w obszarze brzegowym zgrzeiny w osi jądra – miejsce styku z narzędziem (rys.c).



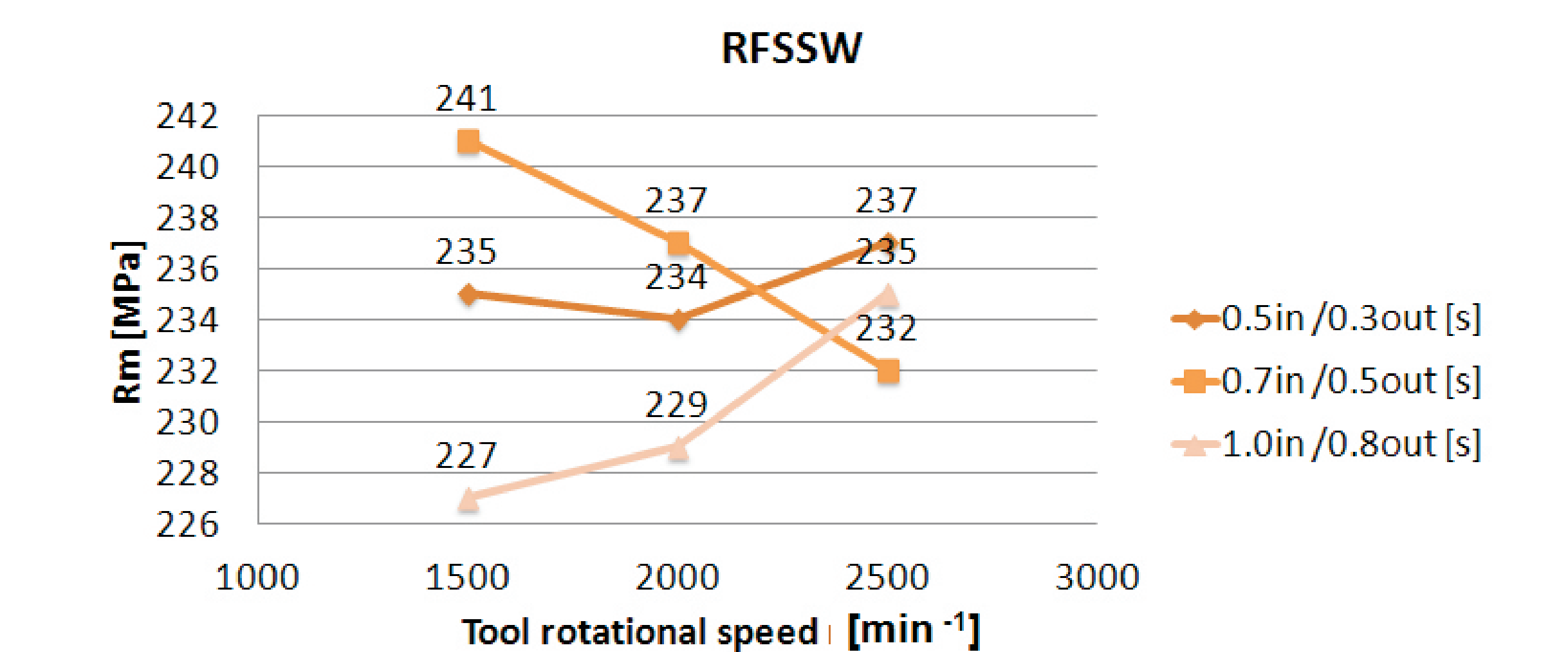
Zarówno w obszarze zgrzeiny jak i w strefie wpływu ciepła brak jest jakichkolwiek zmian mikrostruktury stopu, które polegałyby na zmianie rodzaju wydzielających się w stopie faz. Wystąpiło zjawisko ujednorodnienia stopu w tych obszarach polegające na zaniku pasmowości mikrostruktury i równomiernym (poza pasmami płynięcia) rozłożeniu fazy (rys.a,b,c).



Przykładowy wykres zależności twardości od obszaru spoiny – rozkład mikrotwardości w obszarze zgrzeiny dla stopu

Wyniki pomiarów mikrotwardości obszaru wskazują na łagodny i analogiczny po obu stronach zgrzeiny charakter przejścia obszaru zgrzeiny w materiał podstawowy. Twardość stopu wynosi ok. 80 HV0,1, twardość w obszarze granicy zgrzeina/materiał podstawowy jest podobna.

Własności mechaniczne zgranych próbek – próba rozciągania



#### Wnioski

Conclusions

Nie zaobserwowano różnic w wyglądzie połączenia w zależności od zastosowanych parametrów zgrzewania  
Nie stwierdzono również różnic w budowie połączenia – w przypadku każdej z badanych próbek zgrzeina posiada charakterystyczny kształt „łódki” z widocznymi liniami płynięcia  
Zarówno w obszarze zgrzeiny jak również w strefie wpływu ciepła nie zaobserwowano występowania jakichkolwiek wad typu pęcherze lub inne nieciągłości  
Bez względu na zastosowane parametry procesu zgrzewania uzyskano efekt trwałego połączenia blach.  
Proces zgrzewania nie spowodował zmian mikrostruktury stopu polegających na zmianie rodzaju wydzielających się faz, zarówno w obszarze zgrzeiny jak i w strefie wpływu ciepła.