

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych

Unconventional technologies of joining of elements of aeronautical constructions

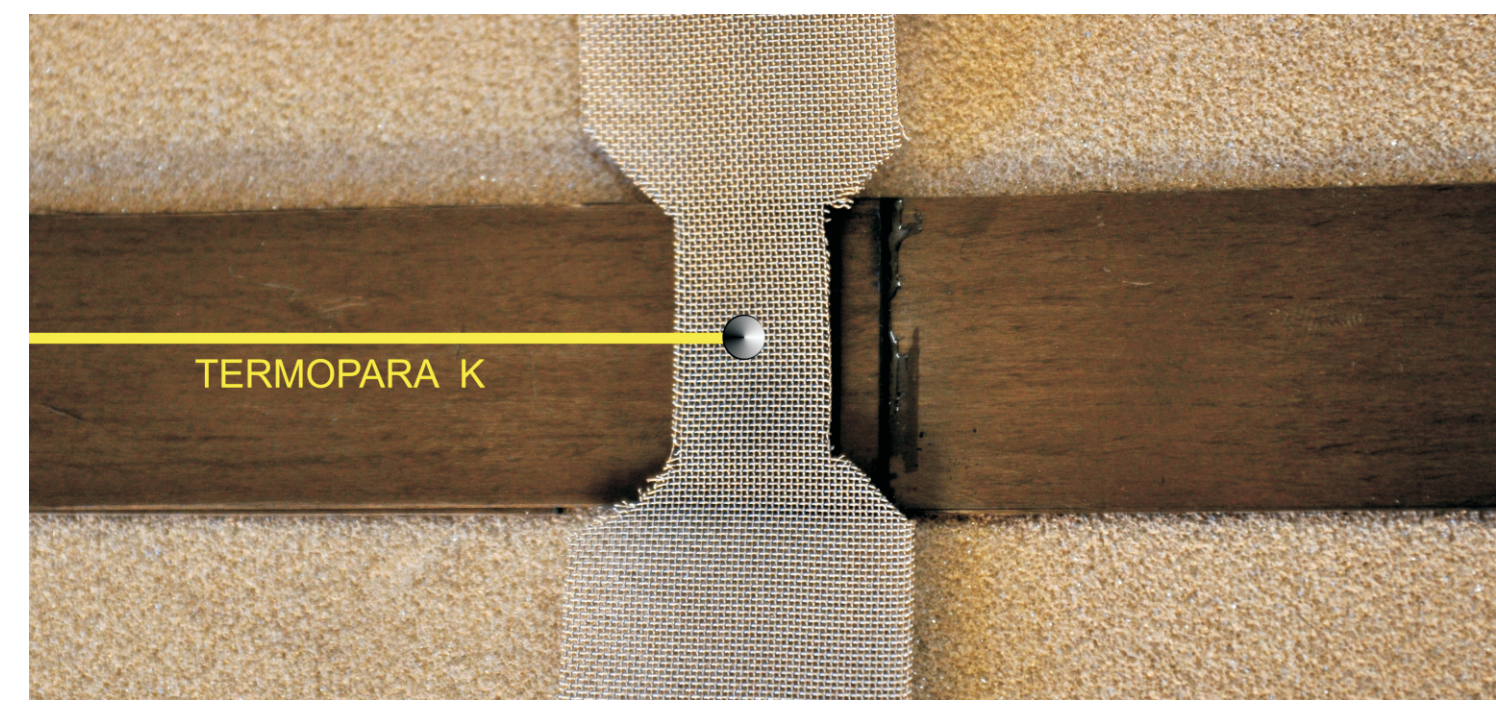
Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Częstochowska, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

Wyniki badań Results

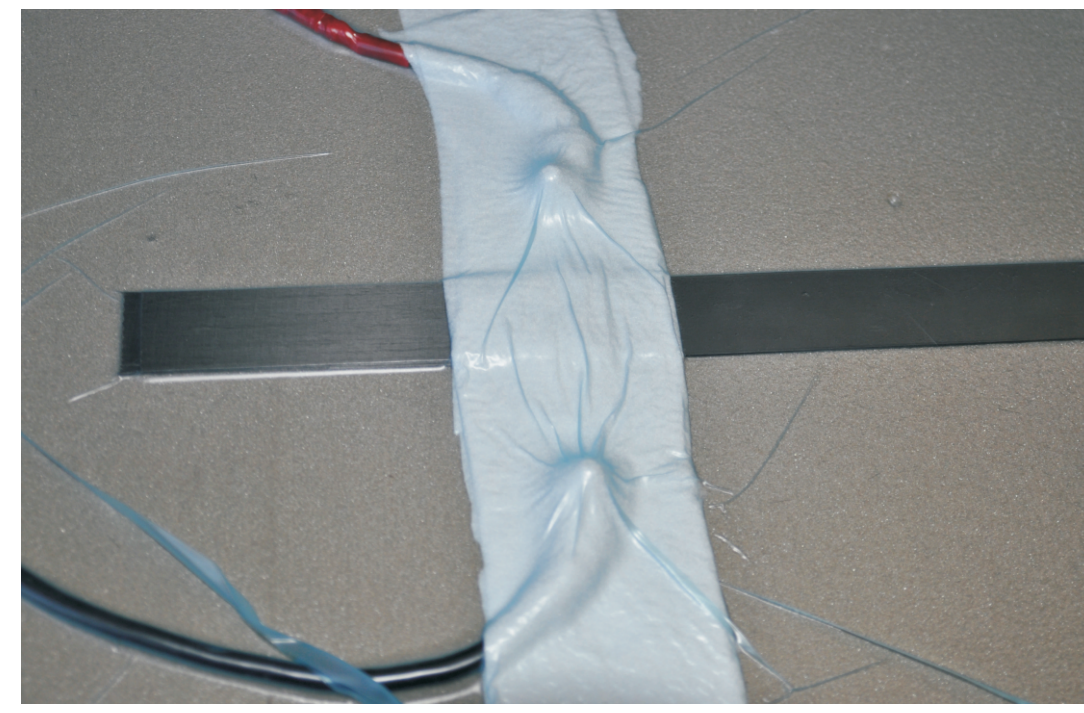
1. Połączenie kompozytów epoksydowych przy pomocy termoutwardzalnych klejów epoksydowych, mma, poliuretanowych przy pomocy próżni i wygrzewania lokalnego

Connecting epoxy composites using thermosetting adhesives epoxy, mma, polyurethane and vacuum using a local heating

Opracowano technologię wykonywania złącza przy pomocy klejów termoutwardzalnych oraz klejów wymagających wygrzewania po utwardzeniu. Przeprowadzono serię testów na identycznym materiale bazowym - kompozycie epoksydowych wykonanym w technologii infuzji i poddanym obróbce zgodnej z kartą producenta żywicy. Kompozyt został sklejany w tradycyjny sposób oraz z zastosowaniem technologii opracowanej w IMP: próżni oraz siatki do lokalnego grzania. Próbkę zostały poddane analizie wytrzymałościowej z rejestracją przemieszczeń w rejonie złącza.



Rys. 1. Pomiar temperatury podczas wygrzewania z obu stron złącza oraz wewnątrz złącza przy pomocy termopar typu K. Czujnik mierzący temperaturę w rejonie złącza sprzężony jest z regulatorem mocy grzania.



Rys. 2. Umieszczenie złącza w próżni 0,95 bara i odizolowanie termicznie

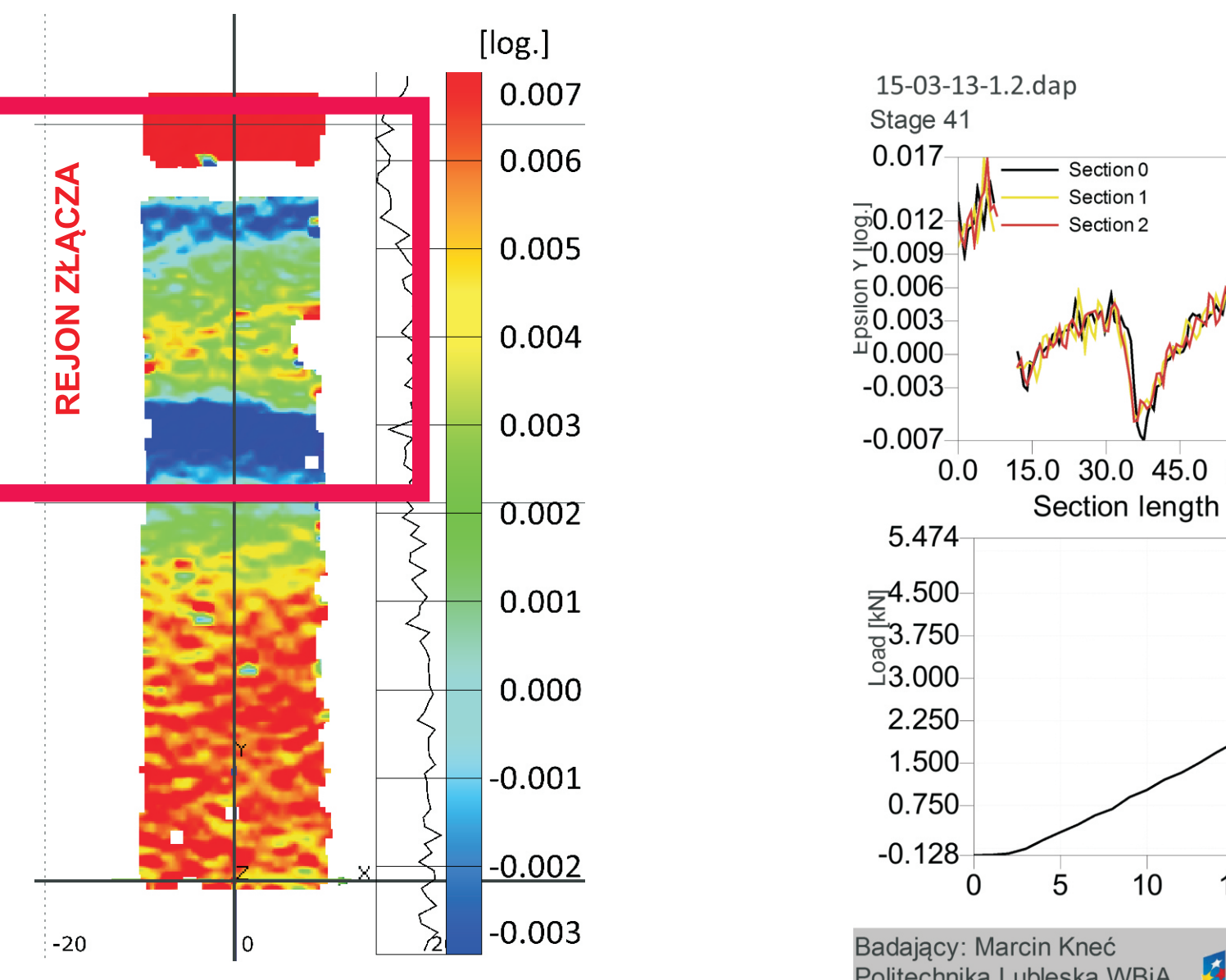


Rys. 3. Opracowano serię siatek grzewczych w powłoce silikonów. Kształt siatki ma znaczący wpływ na rozkład temperatur szczególnie na krawędzi złącza. Warstwa silikonu ma za zadanie rozłożyć naprężenia ściskające od próżni oraz nie dopuszcza do sklejania się siatki z klejem na obwodzie złącza.

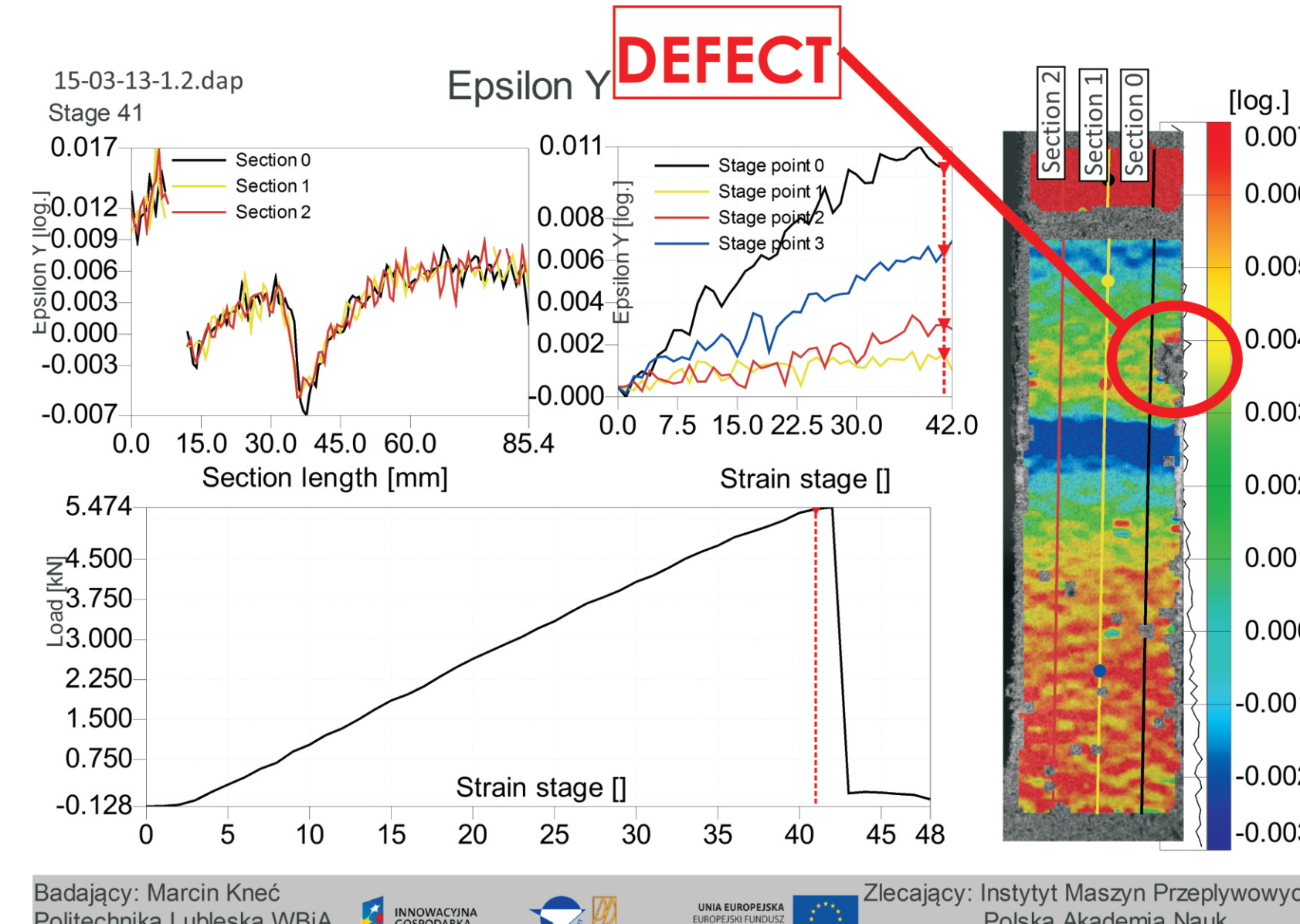
2. Analiza wyników przy pomocy programu aramis - zapisu przemieszczeń w złączu.

Analysis of the results using the program aramis - recording movements in the joint.

Przeprowadzona analiza wytrzymałościowa miała na celu sprawdzenie poprawności wykonania złącza dla obydwóch technologii. Ze względu na umieszczenie w próżni i konieczności odizolowania termicznego złącza nie ma rejestracji dokładnego rozkładu temperatur podczas wygrzewania. Temperatura ma znaczący wpływ na jakość połączenia szczególnie przy klejach epoksydowych dla tego też przeprowadzona analiza wytrzymałościowa została z analizą przemieszczeń. Analiza ta ma za zadanie wykazać ewentualne błędy słabsze rejonu połączenia.



Rys. 4. Rozkład przemieszczeń w złączu klejowym, zakładowym. Przemieszczenia na kierunku Y. Distribution of displacement in the connector glued, overlapping Movements in the Y direction



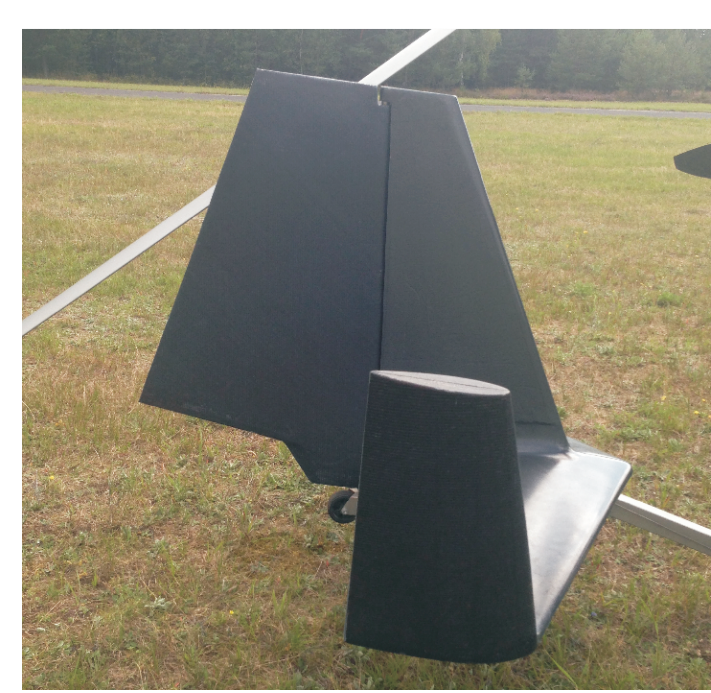
Rys. 5. Rejestracja przemieszczeń w złączu dla wybranych punktów oraz osi, analiza naprężeń. Widoczny defekt w złączu oznaczony DEFECT

Wnioski Conclusions

- Zastosowana technologia wygrzewania złącza znacznie przyspiesza proces wykonania połączenia od momentu aplikacji kleju do czasu uzyskania pełnej wytrzymałości. Dla większości klejów epoksydowych możliwe jest utwardzenie i wygrzanie złącza w ciągu godziny bez konieczności wygrzewania całego elementu.
- Zastosowanie próżni ułatwia stabilizację łączonych elementów i usuwa powietrze z rejonu złącza gdyż próżnia wytwarzana jest przed uplastycznieniem się kleju co znacznie podwyższa wytrzymałość w złączu.
- Zastosowanie siatek grzewczych o bardziej skomplikowanych kształtach może dać możliwość dokładniejszego grzania wybranych rejonów złącza.
- Wytrzymałość złącza wykonanego w zaproponowanej technologii jest średnio 15% większa od klasycznej technologii sklejania.

Wdrożenia

- Wklejanie tulei łożysk tylnego statecznika w śmigłowiec. Technologię zastosowano do wygrzania kleju epoksydowego - Rys. 6
- Naprawy serwisowe siedmiu ram z kompozytu węglowego. Technologię zastosowano do wygrzania kompozytu w miejscu naprawy - Rys. 7
- Wklejanie elementów konstrukcyjnych przy pomocy filmu żywicznego termoutwardzalnego w regatowej łódce solarnej - Rys. 8



Rys. 6. Wklejanie tulei łożysk tylnego statecznika w śmigłowiec



Rys. 7. Naprawy serwisowe siedmiu ram z kompozytu węglowego



Rys. 8. Wklejanie elementów konstrukcyjnych przy pomocy filmu żywicznego termoutwardzalnego w regatowej łódce solarnej

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Prace mgr, dr, hab. Przewód doktorski.

Otwarto przewód doktorski w związku z realizowaną pracą nad opracowywaną technologią. Bartosz Puchowski.

Zgłoszenie patentowe.

Dla technologii zostało wykonane zgłoszenie patentowe.

Sprzedż Technologii

Prowadzone są rozmowy na temat sprzedaży licencji na technologię wraz z osprzętem dla

Wnioski Conclusions

Badania strukturalne złączy spawanych laserem i łukiem elektrycznym ze stopu Inconel718

Inconel718 Structural studies of laser welds and electric arc alloy Inconel718

Rozwój techniki lotniczej związany jest ściśle z opracowaniem i zastosowaniem nowych materiałów oraz technologią ich łączenia. Wymagania stawiane materiałom metalicznym w zależności od warunków ich pracy, rodzaju obciążeń mechanicznych, temperatury i oddziaływania środowiska, mogą być różnorodne.

Do budowy nowoczesnych silników lotniczych niezbędne są materiały o temperaturze pracy do około 1200° C. Materiałami, które w znacznej mierze spełniają wymagania dobrej żaroodporności i żarowytrzymałości, są stopy na osnowie niklu. Wśród tych stopów duże znaczenie posiada produkowany od 1960 r. i ciągle udoskonalany stop na osnowie niklu Inconel 718.

The development of aviation technology is closely connected with the development and application of new materials and technology combine them. Requirements for metallic materials, depending on the conditions of their work, the type of mechanical load, temperature, and environmental impact, can be varied.

For the construction of modern aircraft engines are essential materials for temperatures up to about 1200 ° C. The materials, which largely meet the requirements of good heat resistance and creep resistance are nickel based alloys. Among these alloys importance has been produced since 1960 and constantly improved alloy Inconel 718 nickel matrix

Dane o materiale

Material

Materiał do badań stanowiły cienkie blachy ze stopu na osnowie niklu Inconel 718 o grubości 0,5 mm oraz 1,2 mm, które spawano laserem oraz łukiem elektrycznym. Skład chemiczny analizowanego stopu określono widmową analizą spektralną przy użyciu optycznego spektrometru emisyjnego Q4 Tasman (Bruker) był następujący: 19,0%Cr, 12,5%Fe, 5,2%Nb, 3,2% Mo, 0,87%Ti, 0,75%Al, reszta Ni.

The material consisted of a thin sheet of the alloy Inconel 718 nickel matrix having a thickness of 0.5 mm and 1.2 mm, and that laser welding arc. The chemical composition of the alloy was determined spectral analysis using optical emission spectrometer Q4 Tasman (Bruker) was the following: 19.0% Cr, 12.5% Fe, 5.2% Nb, 3.2% Mo, 0.87% Ti, 0.75% Al, the rest Ni.

etodyka badań

Spawanie łukowe metodą GTAW tych blach realizowano z zastosowaniem spawarki Faltig 300. Gazem ochronno-plazmotwórczym był argon o czystości 99,9% o wydatku 8l/min. Podczas spawania blachy o grubości 0,7 mm stosowano następujące parametry: natężenie prądu I=30 [A] i prędkość spawania V=200 [cm/min], długość łuku elektrycznego l=3mm. Blachy o grubości 1,2 mm spawano łukowo przy natężeniu prądu I=60 [A] i prędkości spawania V=600 [cm/min] oraz długości łuku elektrycznego l=3mm.

Spawanie laserowe blach z Inconelu 718 prowadzono przy użyciu lasera CL150, stosując dla blachy o grubości 0,7mm moc P=686[W], prędkość spawania v=5[mm/s], a dla blachy 1,2 mm moc P=988[W], prędkość spawania v=5[mm/s].

Badania makrostruktury i mikrostruktury tak wykonanych złączy prowadzono na zglądach metalograficznych przy użyciu elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM) VEGA 3 (TESCAN). Zgłady metalograficzne wykonano przez polerowanie mechaniczne przekrojów poprzecznych złączy, inkludowanych w przewodzącej prąd elektryczny masie. Zgłady te trawiono odczynnikami Kallings'a.

Arc Welding GTAW these sheets was carried out using a welder Faltig 300 gas protective was argon with a purity of 99.9% of expenditure 8l/min.

When welding sheet metal with a thickness of 0.7 mm was used the following parameters: current I = 30 [A] and welding speed V = 200 [cm / min], the length of the arc 3mm. Sheet with a thickness of 1.2 mm arc welded at a current I = 60 [A], and the welding speed V = 600 [cm / min] and the arc length 3 mm.

Laser welding of sheets of Inconel 718 was performed using a laser CL150 using the sheet thickness of 0.7 mm power P = 686 [W], the welding speed v = 5 [mm / s], a sheet of 1.2 mm for the power P = 988 [W] welding speed v = 5 [mm / s].

Studies of the microstructure and macrostructure of the connectors so made was performed on metallographic section using scanning electron microscopy (SEM) VEGA 3 (TESCAN).

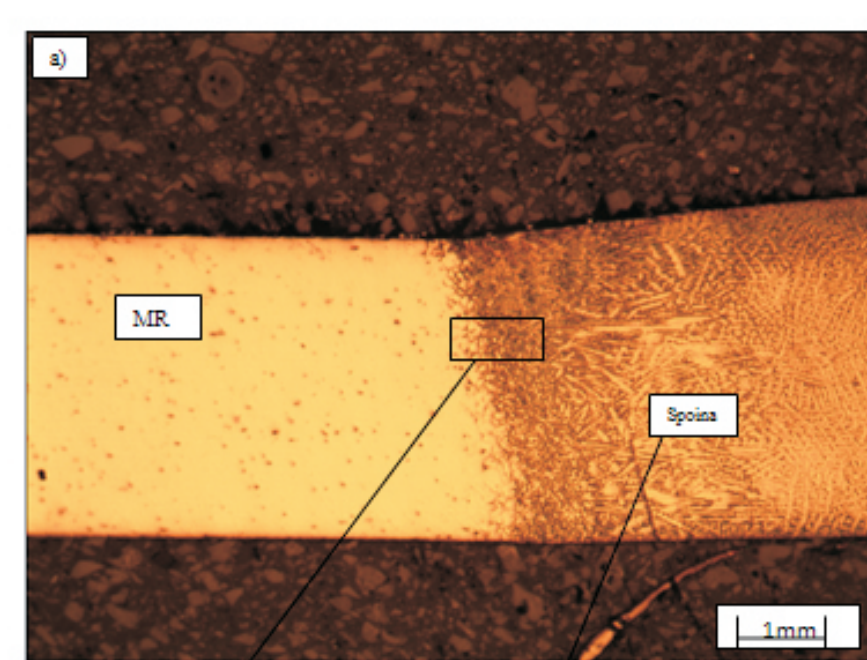
Metallographic section were performed by polishing the metallographic cross-sections of mechanical fasteners, connect with the electrically conductive mass. Metallographic section digested with reagent Kallings'a.

Na rysunkach przedstawiono makrostruktury i mikrostruktury złączy spawanych blachy z Inconel 718 o grubości 0,5mm i 1,2 mm.

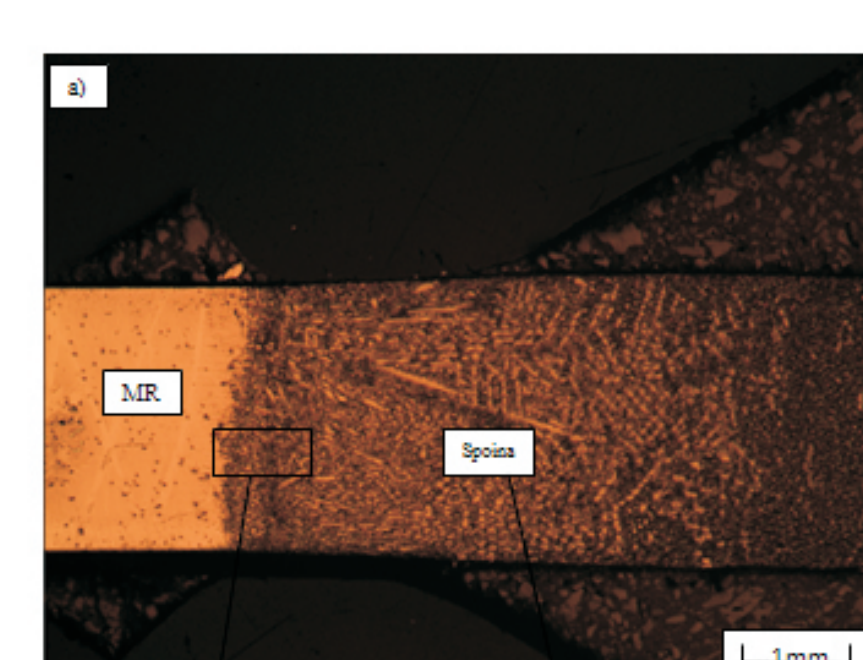
Wyniki tych badań zostało przedstawione na rysunkach 1(a-c), 2(a-c), 3(a-c) oraz 4(a-c). Rysunki (a) są makrostrukturami złączy, rysunki (b) obejmują obszary stref wpływu ciepła (SWC) wraz ze spoiną i materiałem rodzimym (MR), a rysunki (c) przedstawiają mikrostruktury spoin tych złączy spawanych.

In the drawings the microstructure and macrostructure of the welded joints of Inconel 718 metal sheet having a thickness of 0.5 mm and 1.2 mm. The results of these studies are shown in Figures 1 (a) 2 (ac), 3 (ac) and 4 (ac). Figures (a) are macrostructure joints, drawings (b) include the areas of heat affected zones (HAZ) and the weld and parent material (MR), and drawings (c) show the microstructure of these joints welded joints.

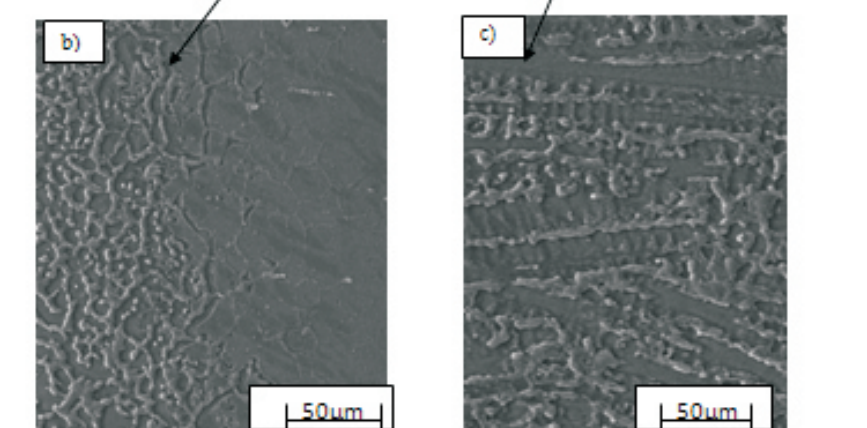
Wszystkie złącza spawane wykonane łukiem elektrycznym i laserem blach ze stopu Inconel 718 o grubości 0,5 mm i 1,2 mm charakteryzują się trójstrefową budową: spoina, SWC(strefa wpływu ciepła) wchodząca w materiał rodzimy(MR). Spoiny tak wykonanych złączy spawanych charakteryzują się strukturą dendrytyczną o różnej dyspersji. W złączach spawanych wykonanych łukiem elektrycznym dendryty mają większe odległości między gałęziami drugiego rzędu(A2) (rys 1c, rys 2c). Odległości te wynoszą średnio dla blach o grubości 0,5 mm 2 µm, a dla blach o grubości 1,2mm 4 µm dla złączy wykonanych przy użyciu lasera. W przypadku spawania z wykorzystaniem łuku elektrycznego odległości te wynoszą odpowiednio 4µm dla blachy o grubości 0,5 mm oraz 9µm dla blachy o grubości 1,2mm.



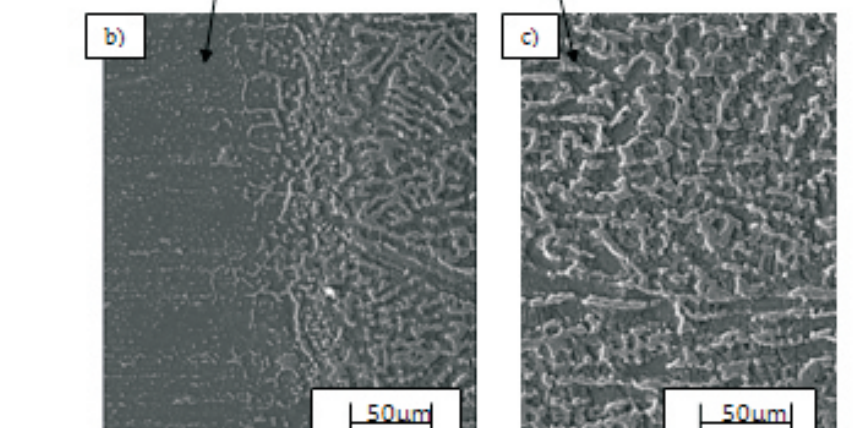
Rys. 1. Makrostruktura (a), mikrostruktury (b) i (c) złącza spawanego blachy o grubości 0,5mm ze stopu Inconel 718 wykonanego przy użyciu łuku elektrycznego.



Rys. 2. Makrostruktura (a), mikrostruktury (b) i (c) złącza spawanego blachy o grubości 0,5mm ze stopu Inconel 718 wykonanego przy użyciu lasera.



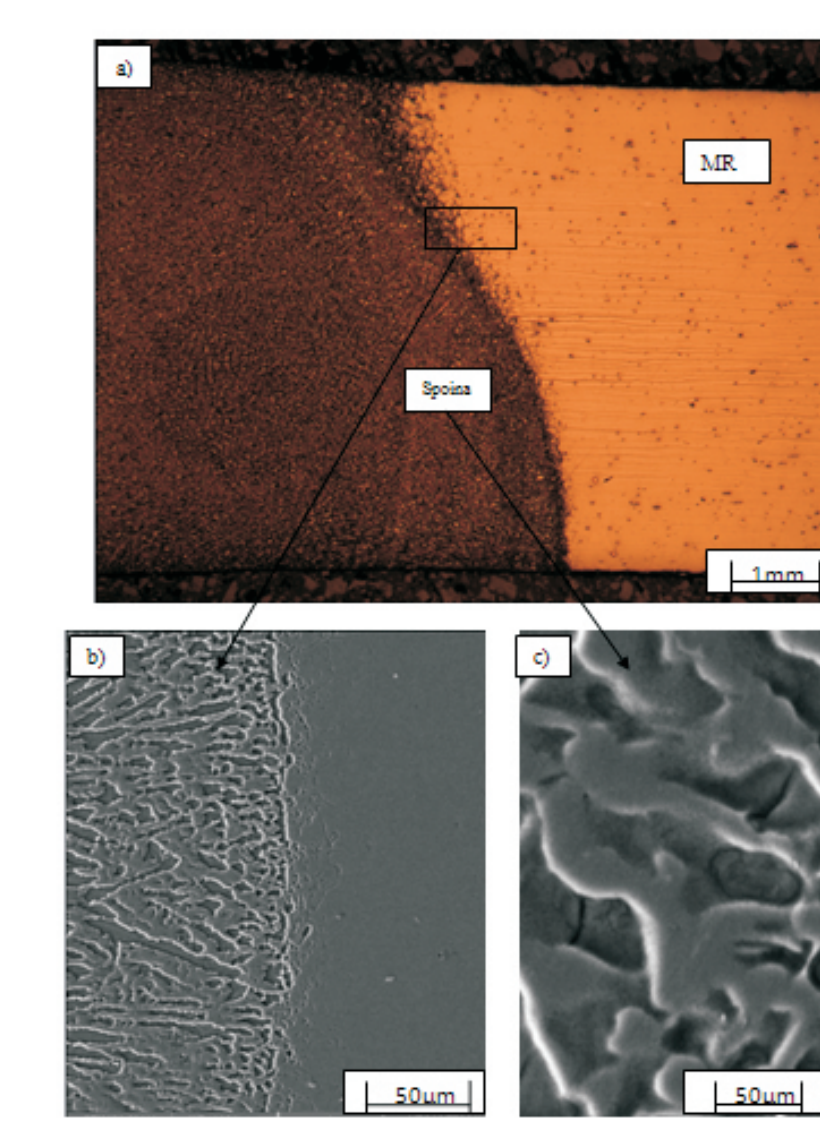
Rys. 1. Makrostruktura (a), mikrostruktury (b) i (c) złącza spawanego blachy o grubości 0,5mm ze stopu Inconel 718 wykonanego przy użyciu łuku elektrycznego.



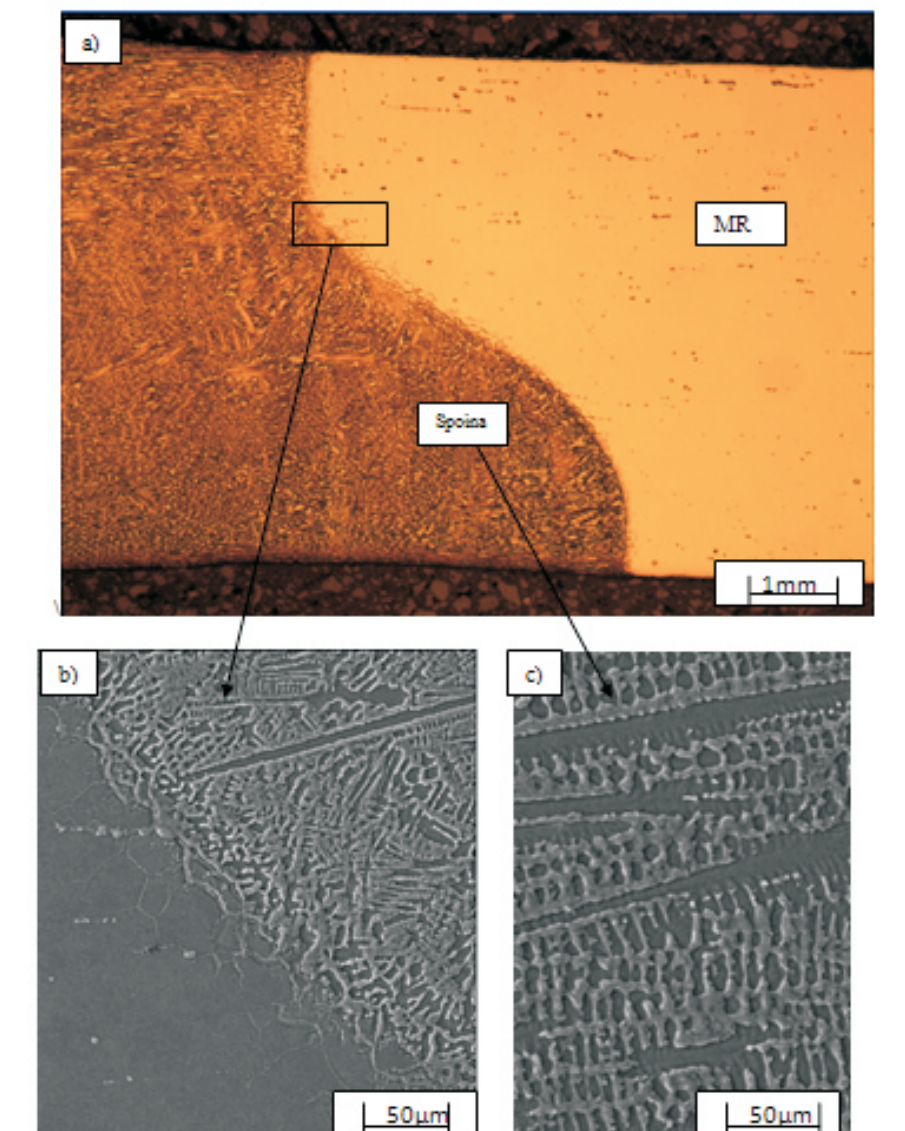
Rys. 2. Makrostruktura (a), mikrostruktury (b) i (c) złącza spawanego blachy o grubości 0,5mm ze stopu Inconel 718 wykonanego przy użyciu lasera.

Fig 1. Macrostructure (a), the microstructure (b) and (c) of the welded joint sheet with a thickness of 0.5 mm Inconel 718 alloy is made by using an electric arc.

Fig 2. Macrostructure (a), the microstructure (b) and (c) of the welded joint sheet with a thickness of 0.5 mm Inconel 718 alloy is made by using a laser



Rys. 3. Makrostruktura (a), mikrostruktury (b) i (c) złącza spawanego blachy o grubości 1,2mm ze stopu Inconel 718 wykonanego przy użyciu łuku elektrycznego.



Rys. 4. Makrostruktura (a), mikrostruktury (b) i (c) złącza spawanego blachy o grubości 1,2mm ze stopu Inconel 718 wykonanego przy użyciu lasera.

Fig 3. Macrostructure (a), the microstructure (b) and (c) of the welded joint sheet with a thickness of 1.2 mm Inconel 718 alloy is made by using an electric arc.

Fig 4. Macrostructure (a), the microstructure (b) and (c) of the welded joint sheet with a thickness of 1.2 mm Inconel 718 alloy is made by using a laser

Szerokość SWC jest węższa przy złączach wykonanych z użyciem lasera niż w przypadku złączy wykonanych z użyciem łuku elektrycznego. All welded joints made of an electric arc and laser metal alloy Inconel 718 with a thickness of 0.5 mm and 1.2 mm are characterized by a three-zone construction: weld, HAZ (heat affected zone) as part of the native material (MR). Welds made as welded joints characterized by a dendritic structure with different dispersion. The welded joints made electric arc dendrites have a larger distance between the branches of the second order (A2) (Fig. 1c, Figure 2c). These distances are average for the thickness of 0.5 mm 2 microns, and for plates with a thickness of 1.2 mm 4 m for joints made with a laser. When welding arc using these distances are respectively 4µm for sheet metal thickness of 0.5 mm and 9µm the sheet with a thickness of 1.2 mm. HAZ is narrower width with the connections made with the laser than in the case of joints made with the electric arc.

Wnioski Conclusions

- Na podstawie analizy strukturalnej złączy spawanych cienkich blach ze stopu Inconel 718 wykonanych metodą GTAW(TIG) i przy użyciu lasera można stwierdzić, że:
- złącza spawane charakteryzują się trójstrefową budową: spoina, SWC(strefa wpływu ciepła) wchodząca w materiał rodzimy(MR),
 - spoiny wykonanych złączy spawanych charakteryzują się strukturą dendrytyczną o różnej dyspersji,
 - spoiny złączy wykonanych łukiem elektrycznym i laserem charakteryzują się drobno dendrytyczną mikrostrukturą o różnych odległościach między gałęziami drugiego rzędu zależnych od grubości spawanych blach,
 - odległości między gałęziami drugiego rzędu (A2) wynoszą średnio dla blach o grubości 0,5 mm 2 µm, a dla blach o grubości 1,2mm 4 µm dla złączy wykonanych przy użyciu lasera,
 - przy spawaniu z wykorzystaniem łuku elektrycznego odległości te wynoszą odpowiednio 4µm dla blachy o grubości 0,5 mm oraz 9µm dla blachy o grubości 1,2mm,
 - odległości między gałęziami drugiego rzędu są większe w przypadku spawania z wykorzystaniem łuku elektrycznego,
 - szerokość SWC jest węższa przy złączach wykonanych z użyciem lasera niż w przypadku złączy wykonanych z użyciem łuku elektrycznego,
 - na granicy spoina-strefa wpływu ciepła można zaobserwować grube ziarna fazy γ w przypadku spawania metodą GTAW.

On the basis of structural analysis of the welded joints of the alloy thin plates made of Inconel 718 GTAW (TIG), and using a laser can be concluded that:

- welded joints are characterized by a three-zone construction: weld, HAZ (heat affected zone) as part of the native material (MR)
- welded joints made dendritic structure characterized by different dispersion
- weld joints made electric arc and laser characterized by a fine dendritic microstructure with different distances between the branches of second order depending on the thickness of the welded metal,
- distance between the branches of the second order (A2) averages for the thickness of 0.5 mm 2 microns, and for plates with a thickness of 1.2 mm 4 m for joints made using a laser,
- welding arc using these distances are respectively 4µm for sheet metal thickness of 0.5 mm and 9µm the sheet with a thickness of 1.2 mm.
- the distance between the branches of the second row are larger in the case of using a welding arc,
- HAZ is narrower width with the connections made with the laser than in the case of joints made with the electric arc,
- border weld-heat-affected zone can be observed coarse grains γ phase for GTAW.

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

Wszystkie złącza spawane wykonane łukiem elektrycznym i laserem blach ze stopu Inconel 718 o grubości 0,5 mm i 1,2 mm charakteryzują się trójstrefową budową: spoina, SWC(strefa wpływu ciepła) wchodząca w materiał rodzimy(MR). Spoiny tak wykonanych złączy spawanych charakteryzują się strukturą dendrytyczną o różnej dyspersji. W złączach spawanych wykonanych łukiem elektrycznym dendryty mają większe odległości między gałęziami drugiego rzędu(A2) (rys 1c, rys 2c). Odległości te wynoszą średnio dla blach o grubości 0,5 mm 2 µm, a dla blach o grubości 1,2mm 4 µm dla złączy wykonanych przy użyciu lasera. W przypadku spawania z wykorzystaniem łuku elektrycznego odległości te wynoszą odpowiednio 4µm dla blachy o grubości 0,5 mm oraz 9µm dla blachy o grubości 1,2mm. Szerokość SWC jest węższa przy złączach wykonanych z użyciem lasera niż w przypadku złączy wykonanych z użyciem łuku elektrycznego.

All welded joints made of an electric arc and laser metal alloy Inconel 718 with a thickness of 0.5 mm and 1.2 mm are characterized by a three-zone construction: weld, HAZ (heat affected zone) as part of the native material (MR). Welds made as welded joints characterized by a dendritic structure with different dispersion. The welded joints made electric arc dendrites have a larger distance between the branches of the second order (A2) (Fig. 1c, Figure 2c). These distances are average for the thickness of 0.5 mm 2 microns, and for plates with a thickness of 1.2 mm 4 m for joints made with a laser. When welding arc using these distances are respectively 4µm for sheet metal thickness of 0.5 mm and 9µm the sheet with a thickness of 1.2 mm. HAZ is narrower width with the connections made with the laser than in the case of joints made with the electric arc.