

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

Analiza technologii wykonywania połączeń klejowo-zgrzewanych Analysis of technology of adhesive-welded joints

Badania obejmować mają swoim zakresem:

- dobór zamiennika dotychczas stosowanego kleju Epodur 619,
- określenie sposobów przygotowania powierzchni elementów produkcyjnych ze stopów Al do procesów zgrzewania, klejenia i nitowania,
- ustalenie sekwencji operacji technologicznych z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych,
- doboru procesów pokrywowych dla tak zmontowanych zespołów.

- Przeprowadzone dotychczas badania wstępne obejmowały swoim zakresem:
- badania struktury stereometrycznej powierzchni blach ze stopu 2024 w stanie dostawy i po alodynowaniu,
 - badania energii powierzchniowej w/w powierzchni,
 - badania wytrzymałościowe zakładkowych złączy klejowych wykonanych z zastosowaniem wybranych klejów oraz wariantów przygotowania powierzchni i warunków utwardzania.

Tests area:

- selection of a replacement for adhesive Epodur 619,
- identification of preparation ways of Al alloy surfaces before the production processes of welding, gluing and riveting,
- determining the sequence of technological operations taking into consideration the economic aspects
- selection of coating processes for the assembled sets

Preliminary studies were carried out in the range of:

- investigation of surface topography of an alloy 2024 sheet, as supplied and after alodining,
- study of the surface free energy,
- strength tests of adhesive lap joints made with selected variants of adhesives and surface preparation and curing conditions

Tabela 3. Wyniki badań kąta zwilżania i energii powierzchniowej stopu aluminium 2024

Table 3 The results of investigations of the contact angle and surface energy of 2024 aluminium alloy

Parametr	Stan dostawy	Alodynowana
Średni kąt zwilżania - woda	76,9 st	72,1 st
Średni kąt zwilżania - dijdometan	36,2 st	35,3 st
Łączna energia powierzchniowa	51,3 mJ/m	53,8 mJ/m
Składowa dyspersyjna	41,9 mJ/m	42,2 mJ/m
Składowa polarna	9,5 mJ/m	11,5 mJ/m

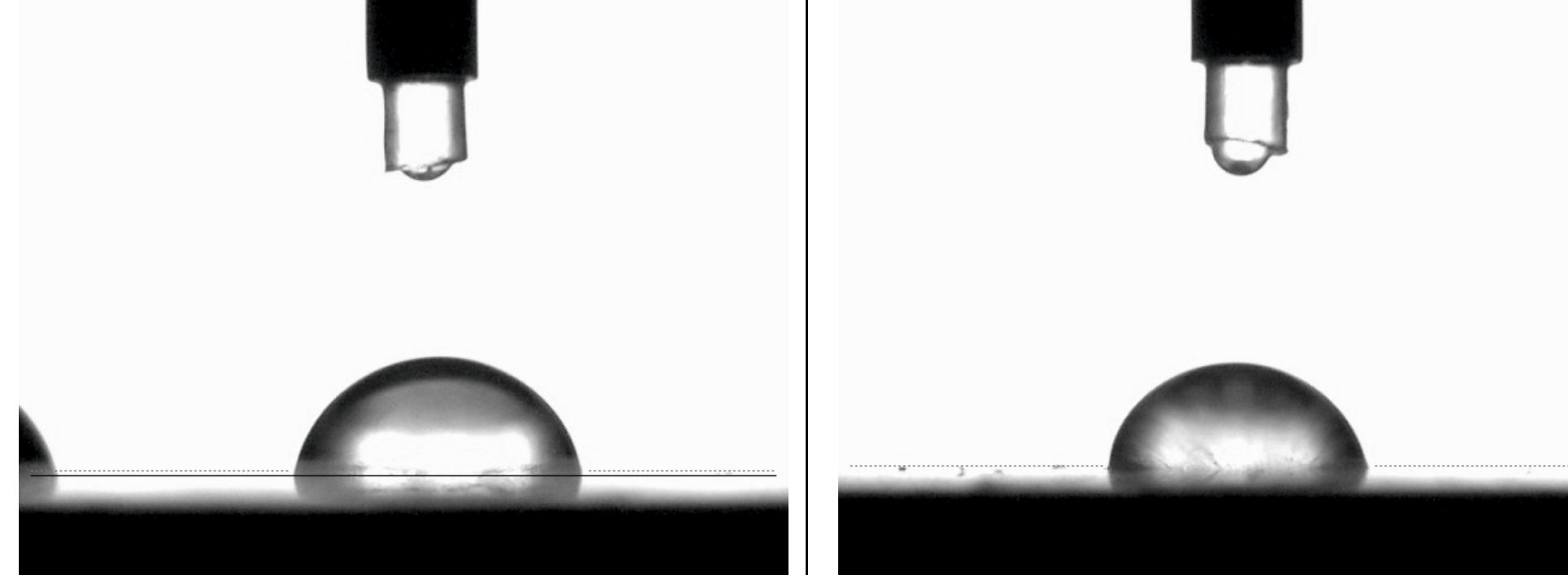


Tabela 4. Oznaczenia wariantów i warunki wykonania zakładkowych połączeń klejowych

Table 4 Description of variants and conditions for adhesive lap joints creating

Wariant	Klej	Temperatura utwardzania	Powierzchnia
EPD619	Epodur 619	pokojoowa	stan dostawy
EPD619T	Epodur 619	140 st C, 4 godz.	stan dostawy
EPD619A	Epodur 619	pokojoowa	alodynowana
EPD619AT	Epodur 619	140 st C, 4 godz.	alodynowana
LC638	Loctite 638	pokojoowa	stan dostawy
LC638A	Loctite 638	pokojoowa	alodynowana
LC9455	Loctite 9455	pokojoowa	stan dostawy
LC9455T	Loctite 9455	140 st C, 4 godz.	stan dostawy
E57	Epidian 57 + PAC	pokojoowa	stan dostawy
E57T	Epidian 57 + PAC	140 st C, 4 godz.	stan dostawy
E57A	Epidian 57 + PAC	pokojoowa	alodynowana
E57AT	Epidian 57 + PAC	140 st C, 4 godz.	alodynowana

Wnioski Conclusions

1. Badania struktury geometrycznej powierzchni wykazały, że powierzchnie stopu aluminium 2024 ukonytuowane w procesie walcowania (stan dostawy) posiadają strukturę płasko wierzchołkową niekorzystną dla procesu klejenia. Natomiast alodynowanie powoduje rozwinięcie powierzchni oraz ukonytuowanie warstwy tlenkowej pożądanej w procesie klejenia stopów aluminium.
 2. Pomiary energii powierzchniowej nie wykazały istotnych różnic energetycznych powierzchni walcowanej (51,3 mJ/m) i alodynowanej (53,8 mJ/m).
 3. Zamienników kleju Epodur 619 należy poszukiwać wśród kompozycji epoksydowych dwuskładnikowych utwardzanych termicznie (Epidian 57 + PAC, Epidian 6 + PAC, Loctite 9483).
 4. Uzyskane wyniki badań wytrzymałościowych wykazały, że największą wytrzymałość i najmniejszy rozrzut wyników posiadały złącza klejowe, których powierzchnie łączonych elementów były alodynowane. Stąd należałoby rozważyć możliwość wykonania tej obróbki przed operacją zgrzewania elektrooporowego.
1. Studies of the surface topography showed that the surfaces of 2024 aluminium alloy constituted in the rolling process (delivery status) are characterized by flat peaks unfavourable for bonding. By contrast alodining causes surface development and the constitution of the oxide layer desired in the bonding of aluminium alloys.
 2. Measurements of the surface energy shows no significant differences between rolled (51.3 mJ /m) and alodining (53.8 mJ /m) surface energy
 3. Replacements of glue Epodur 619 should be search among the heat cured two-component epoxy compositions (Epidian 57 + PAC, Epidian 6 + PAC, Loctite 9483).
 4. The results of strength tests showed that the greatest strength and the smallest scatter of results have glue joints where surfaces of combined elements were alodining. Thus, a possibility of alodining before the resistance welding operation should be considered

WYNIKI BADAŃ CHROPOWATOŚCI- PRÓBKA 1 (6061 T6) – STAN DOSTAWY

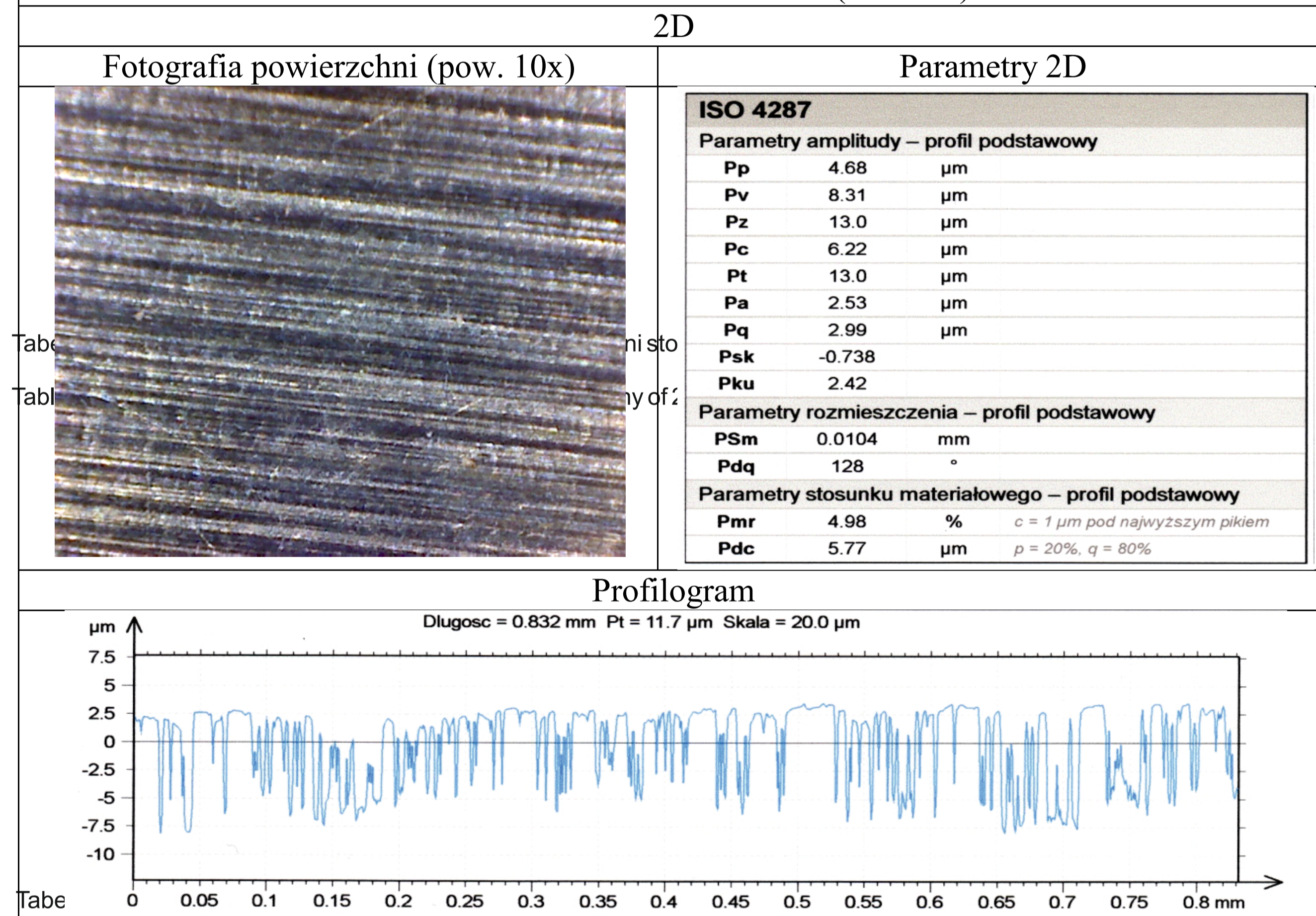
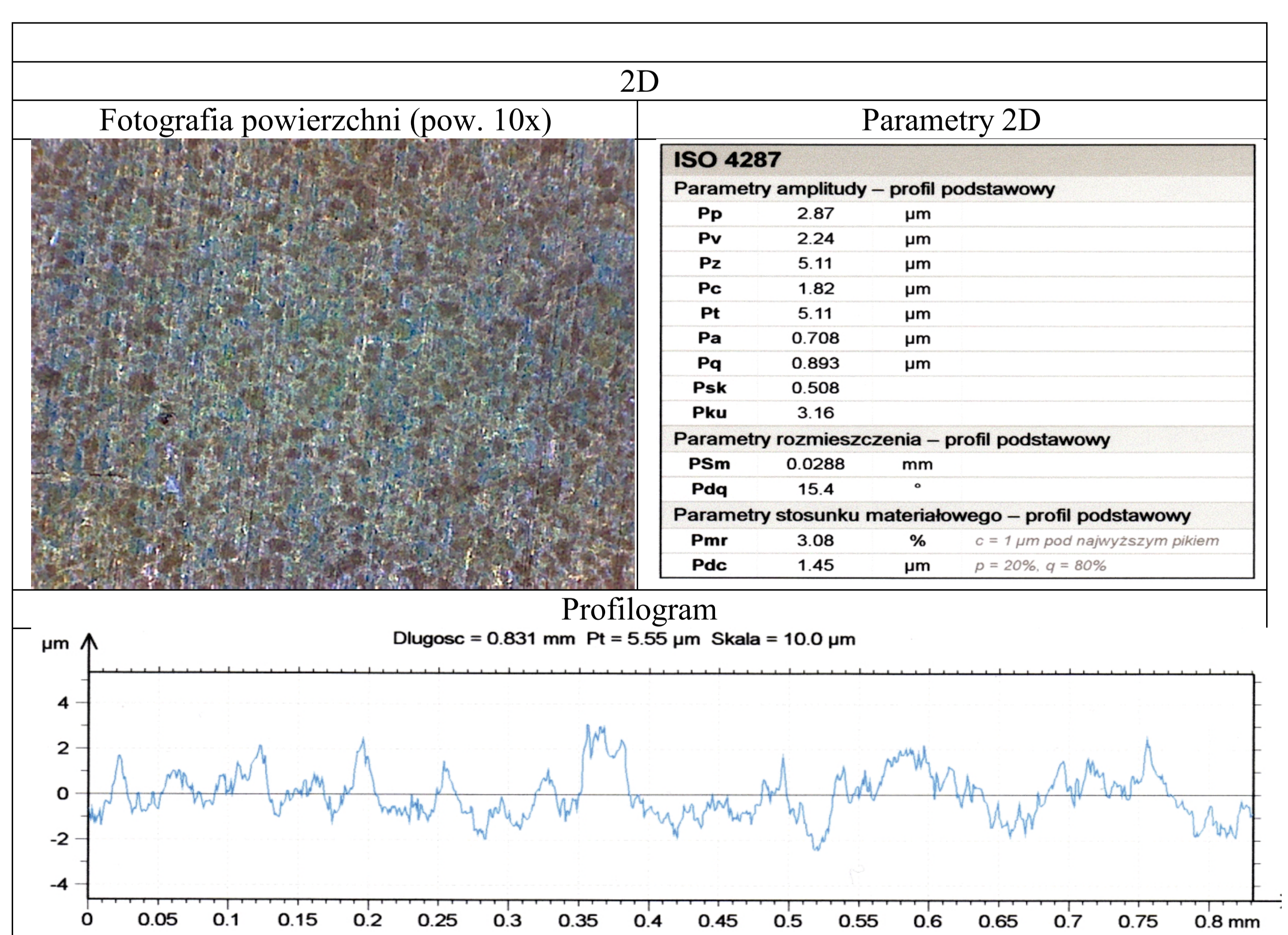
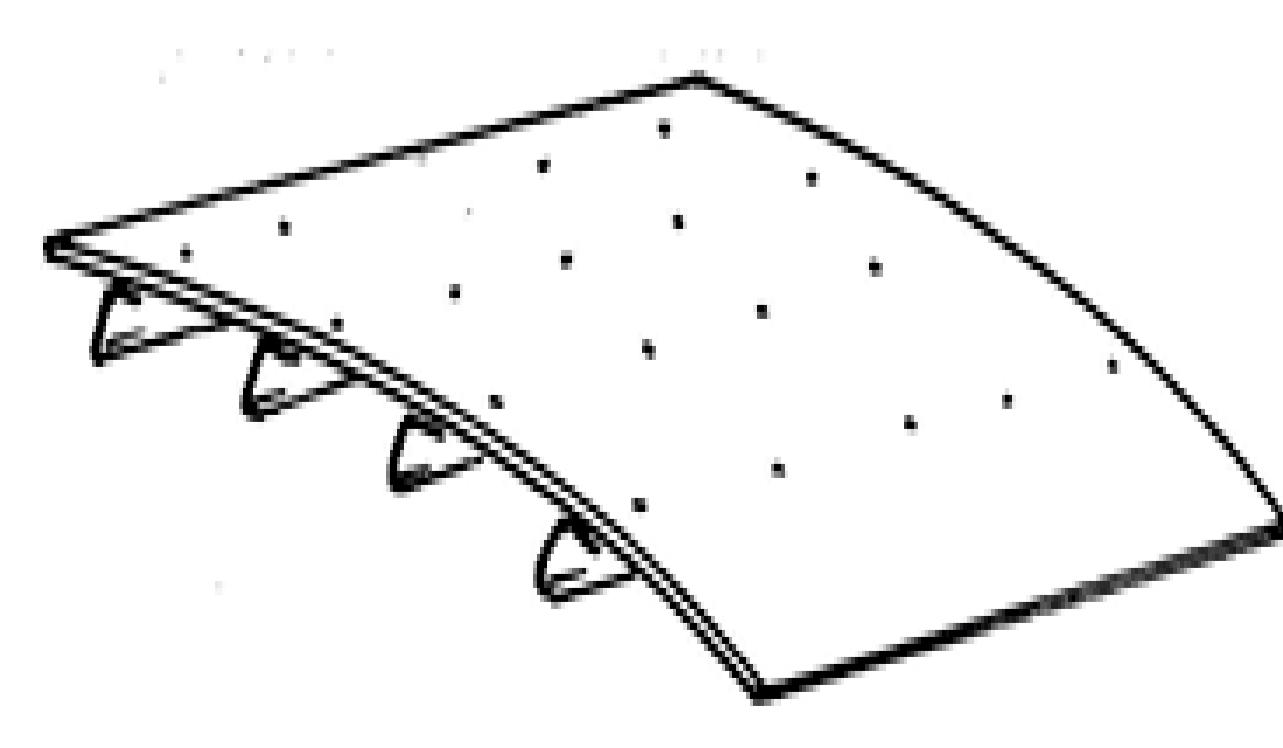


Table 2 The results of investigations of the surface topography of 2024 aluminium alloy - after alodining



Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

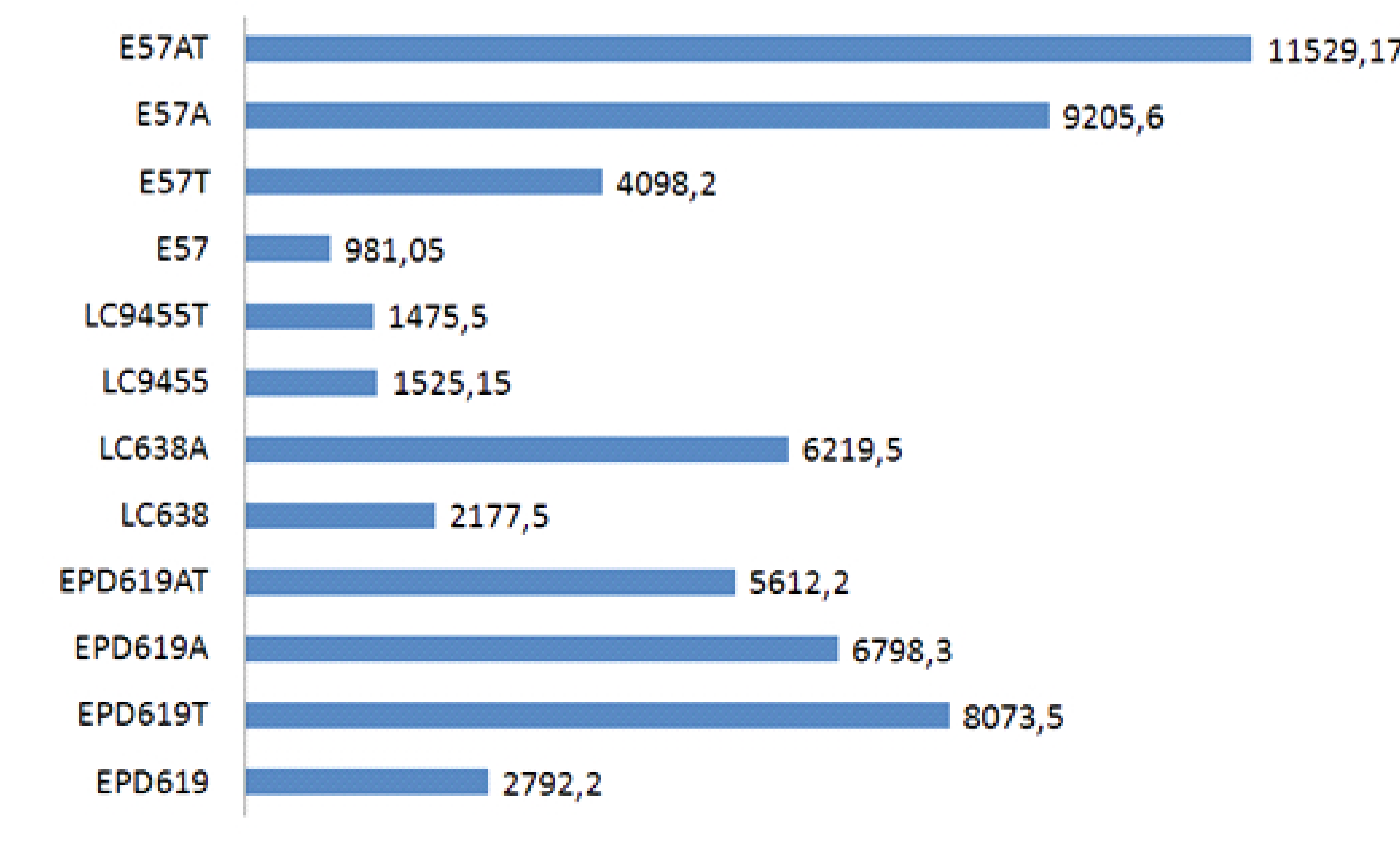


Badania prowadzone są we współpracy z PZL Mielec i dotyczą doskonalenia technologii wykonywania połączeń klejowo nitowych struktur cienkościennych wzmacnianych podłużnicami wykonanych ze stopu aluminium 2024.

Investigations were carrying out in the cooperation with PZL Mielec and they concern development of technology for creating the adhesive-rivet joints of thin structures reinforced by stringers made of 2024 aluminium alloy.

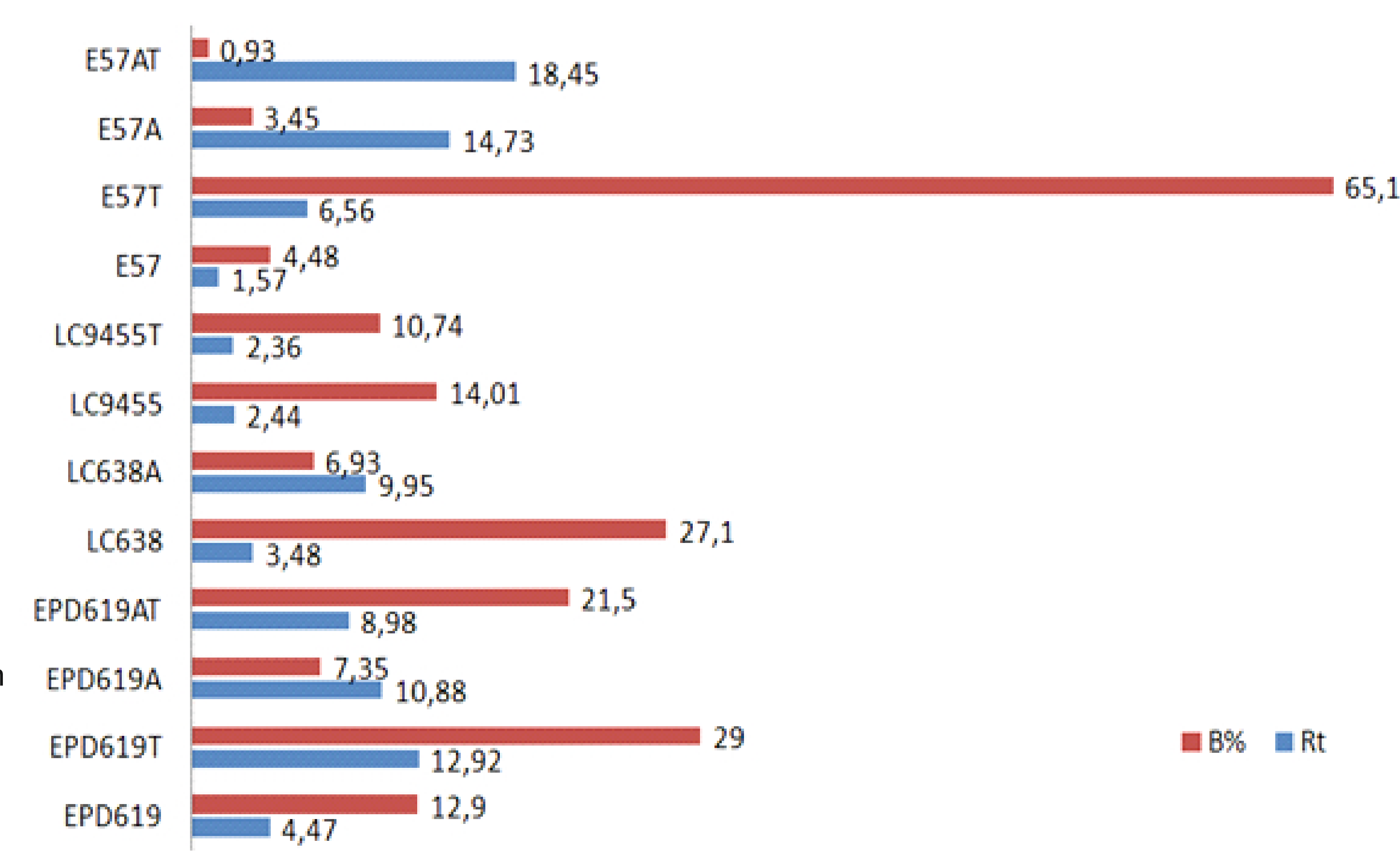
Rys.3. Schemat struktury cienkościenniej wzmacnianej podłużnicami

Fig. 3. Scheme of thin structure reinforced by stringers



Rys.1. Średnia nośność badanych połączeń klejowych P. [N]

Fig.1. Average load P [N] of studied adhesive joints

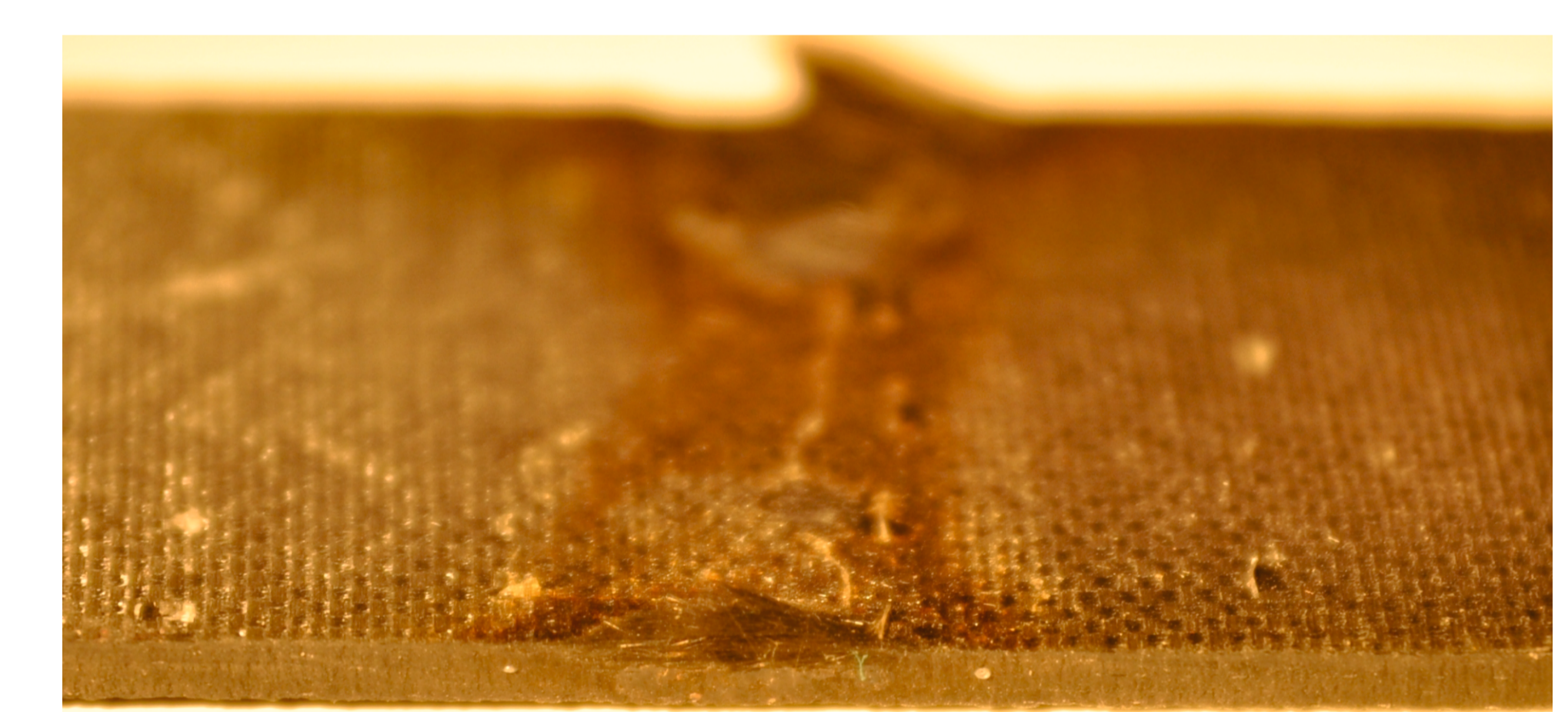
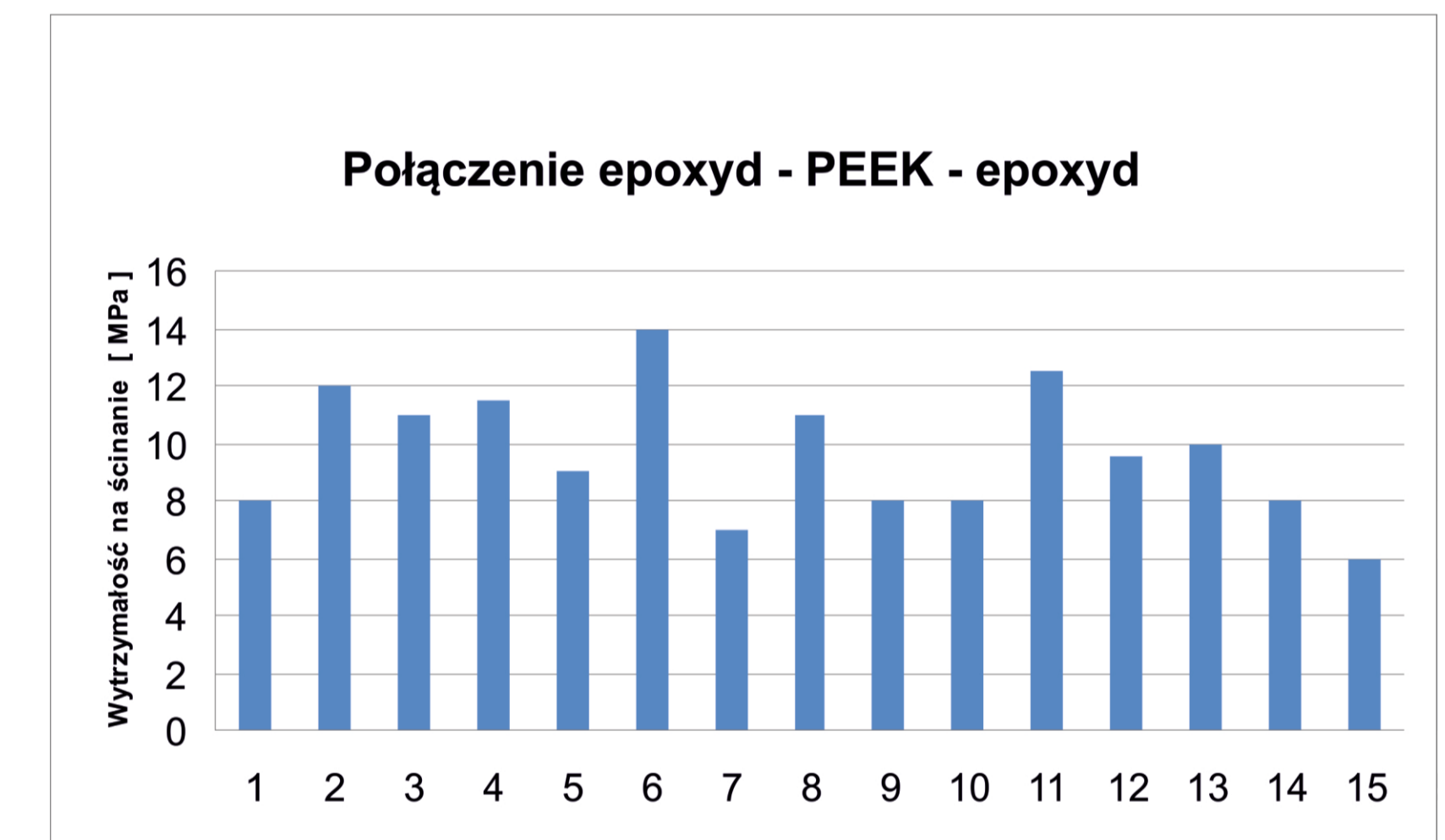


Rys.2. Wytrzymałość na ścinanie Rt [MPa] badanych połączeń klejowych i błąd procentowy B% uzyskanych wyników

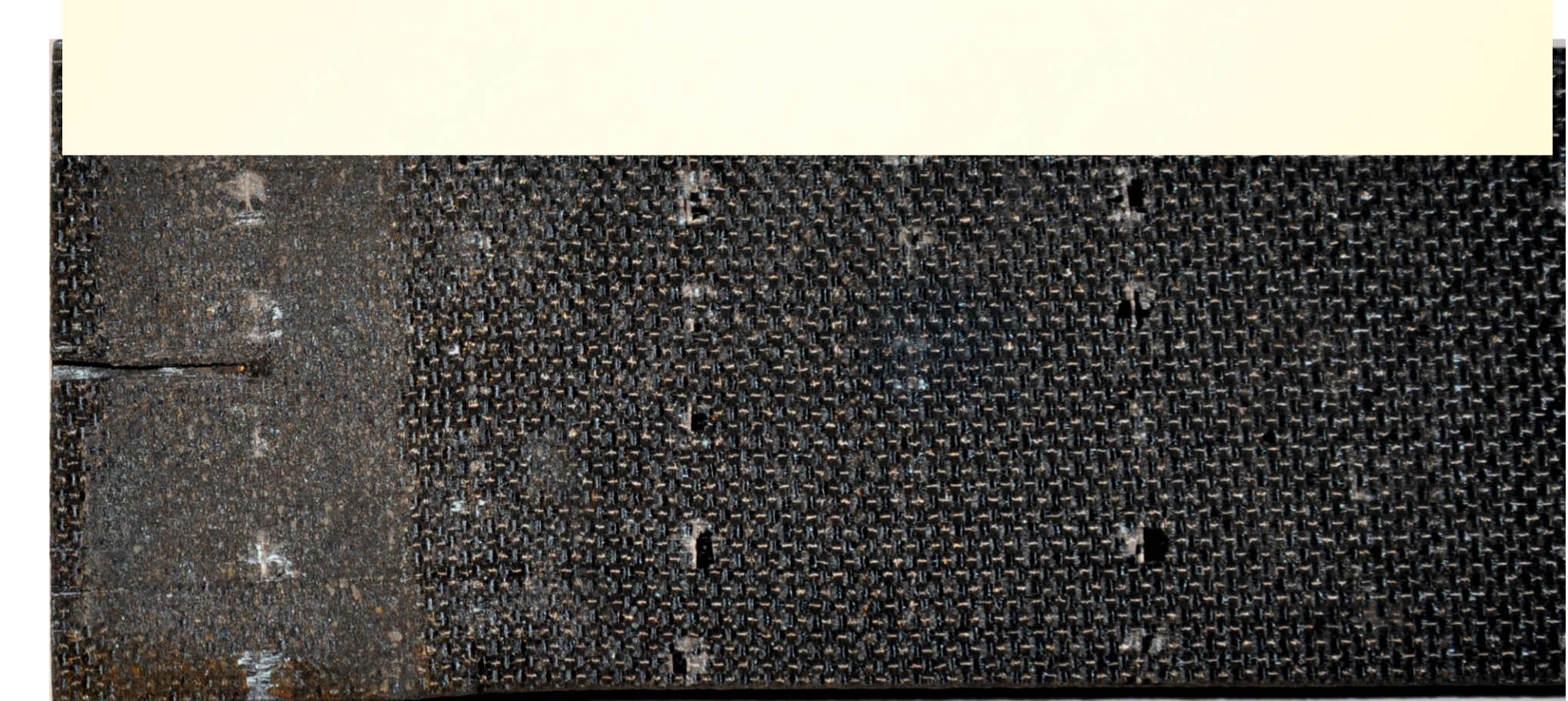
Fig.2. Shear strength Rt [MPa] of the investigated adhesive joints and the percentage error B% of the obtained results

Wyniki badań Results

Połączenie kompozytu epoksydowo węglowego przy pomocy termoplastycznej żywicy PEEK.

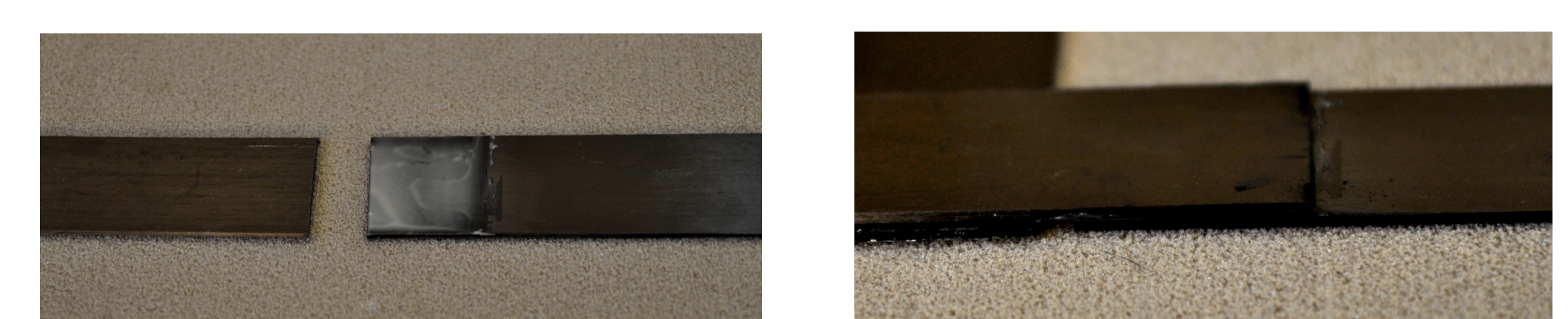


Rys.2. Temperatura wymagana do uzyskania prawidłowego połączenia przy pomocy żywicy PEEK powoduje uszkodzenia żywicy epoksydowej



Rys.3. Znaczne odkształcenia (do 15% w grubości) w kompozycie epoksydowym pod wpływem temperatury oraz docisku podczas zgrzewania.

Połączenie kompozytu epoksydowego przy pomocy żywicy i klejów termoutwardzalnych.



Rys.4. Aplikacja kleju lub filmu żywicznego, spoiwo termoutwardzalne.

Wnioski Conclusions

1. Największy wpływ na wytrzymałość połączeń mają parametry charakteryzujące rozwinięcie powierzchni - dla profilu, parametr Rku (współczynnik nachylenia profilu - 0,49) dla powierzchni jego odpowiednik Sku (kurtoza powierzchni -0,46), Str (wydłużenie struktury powierzchni -0,44) oraz Sdq (średnie kwadratowe nachylenie nierówności powierzchni 0,35). Znaczącym również jest Vmc (objętość rdzenia materiału powierzchni 0,55).
2. W wyniku oddziaływania wiązki lasera na powierzchni utworzyły się regularne wgłębienia sprzyjające mechaniczemu kotwiczeniu kleju w złączu. Korzystniejsze jest ukształtowanie licznych i drobnych wgłębnień zamiast nielicznych (z dużym odstępem) głębokich wgłębnień.