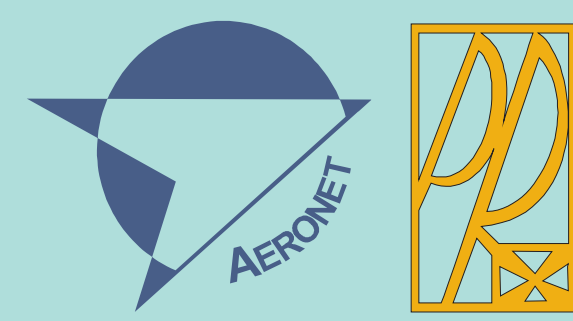


Projekt kluczowy Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym



III KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
I PANELE EKSPERTÓW
13-14 Czerwca 2011

ZB 15

Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych

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

Wyniki badań

LASEROWA OBRÓBKĄ POWIERZCHNI PRZED KLEJENIEM

Operacje klejenia wymagają przygotowania powierzchni przed нанесieniem kleju w celu uzyskania właściwych warunków adhezji. Dotychczas stosowano różnorodne sposoby przygotowania powierzchni:

- chemiczne: płukanie w acetonie, TRI, trawienie
- skrawaniem: ręczna obróbka papierem ściernym, mechaniczna piaskowaniem, frezowanie, szlifowanie, kulowanie i inne.

Cel:

1. Usunięcie zanieczyszczeń – olejów, smarów, silikonów, resztek farb lub innych klejów
2. Rozwinięcie powierzchni – konstituowanie warstwy wierzchniej o cechach polepszających adhezję mechaniczną
3. Aktywacja powierzchni – wytworzenie korzystnych warunków adhezji

Ablacja laserowa

Metoda laserowego oczyszczania powierzchni znalazła zastosowanie m. in. w konserwacji zabytków, usuwaniu zanieczyszczeń lakierniczych lub korozyjnych z budynków lub elementów konstrukcji metalowych. W eksperymencie zastosowano ją do jednoczesnego oczyszczenia powierzchni i jej rozwinięcia, oba cele związane były z aktywacją powierzchni przed нанесieniem kleju. Przedmiotem zainteresowania były dwa aspekty ablacji:

1. Zwiłzalność powierzchni i jej zmiany w czasie (możliwy spadek i jego wielkość)
2. Wytrzymałość statyczna na ścinanie połączenia klejowego wykonanego po ablacji laserowej

Przygotowanie próbek

- W eksperymencie badano:
- stop tytanu Ti-6Al-4V
 - stal kwasoodporną X6Cr17 (niespawalną)

Do badań porównawczych przygotowano próbki w wariantach:

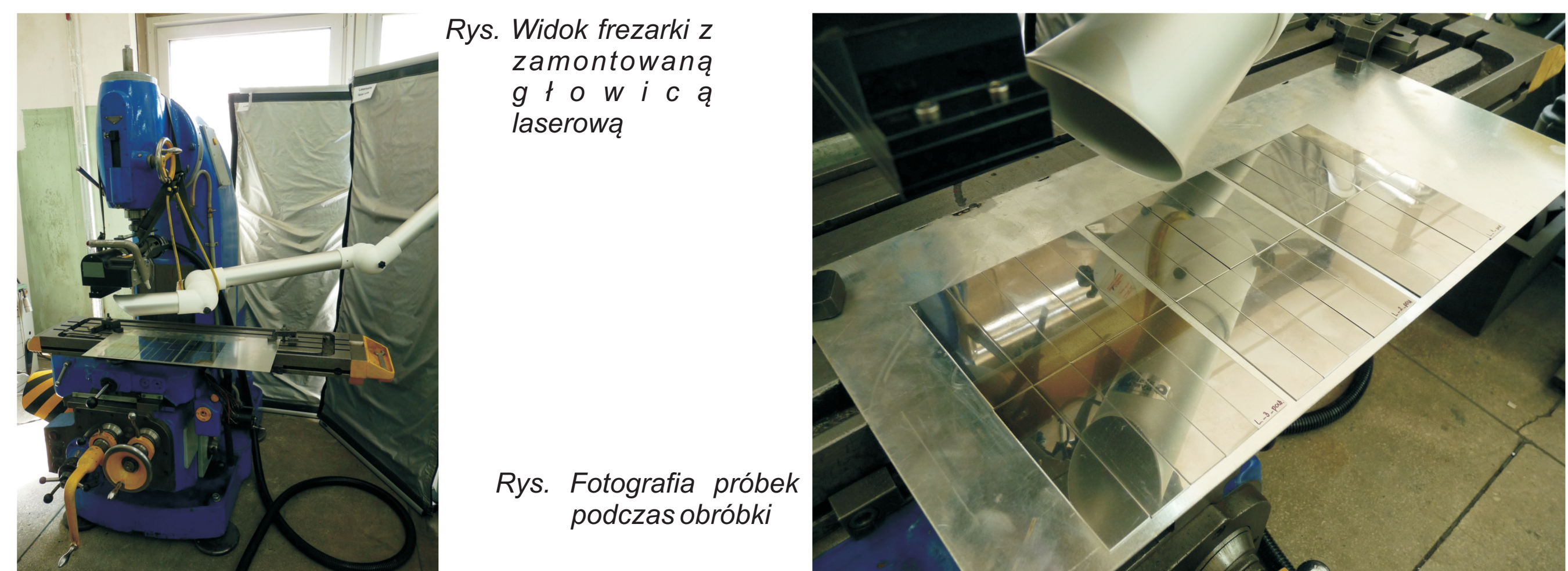
A – odtłuszczenie acetonem w myjce ultradźwiękowej
P – odtłuszczenie acetonem w myjce, chropowacenie ręcznie papierem ściernym P80, płukanie w acetonie w myjce

K60 – odtłuszczenie acetonem w myjce, chropowacenie mechaniczne (obróbka strumieniowo-ścierna) elektrokorundem A95 o ziarnistości 60, w czasie 60 s, pod ciśnieniem 0,4 MPa, płukanie w acetonie w myjce

- LW1** – obróbka laserowa – wariant 1
LW2 – obróbka laserowa – wariant 2
LW3 – obróbka laserowa – wariant 3

Przygotowanie stanowiska obróbkowego

W badaniach eksperymentalnych wykorzystano laser światłowodowy, którego głowicę zamontowano we wrzecienniku frezarki pionowej. Obróbkę powierzchni przed klejeniem realizowano zmieniając parametry pracy lasera oraz przesuw obrabianej powierzchni względem wiązki. Eksperyment przeprowadzono dzięki uprzejmości Ośrodka Naukowo-Konserwatorskiego – Pracowni Konserwacji Zabytków Sp. z o.o. w Poznaniu.



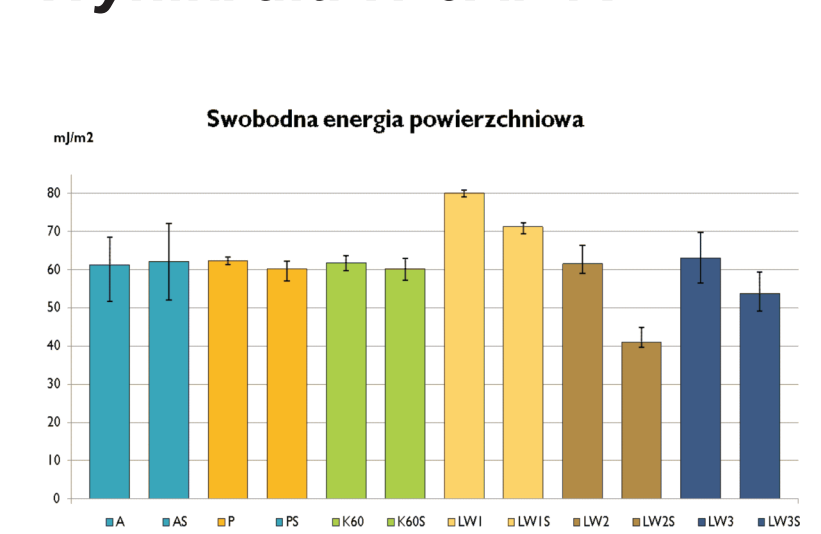
Pomiar kąta zwiłzania
Do analizy efektów aktywacji powierzchni wykonano próbki z klejonych materiałów obrabianych stosownie do zaplanowanych wariantów. Zwiłzalność powierzchni określono na podstawie kąta zwiłzania dla wody destylowanej i diodometanu za pomocą goniometru PG-3. Kąt zwiłzania był podstawą do oszacowania swobodnej energii powierzchniowej metodą średnich harmonicznych dla składowych dyspersyjnej i polarniej.



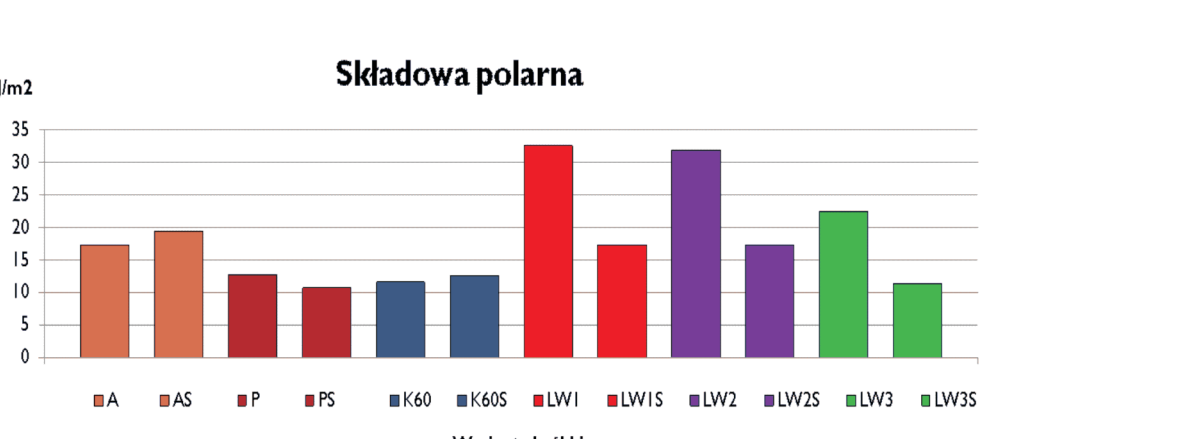
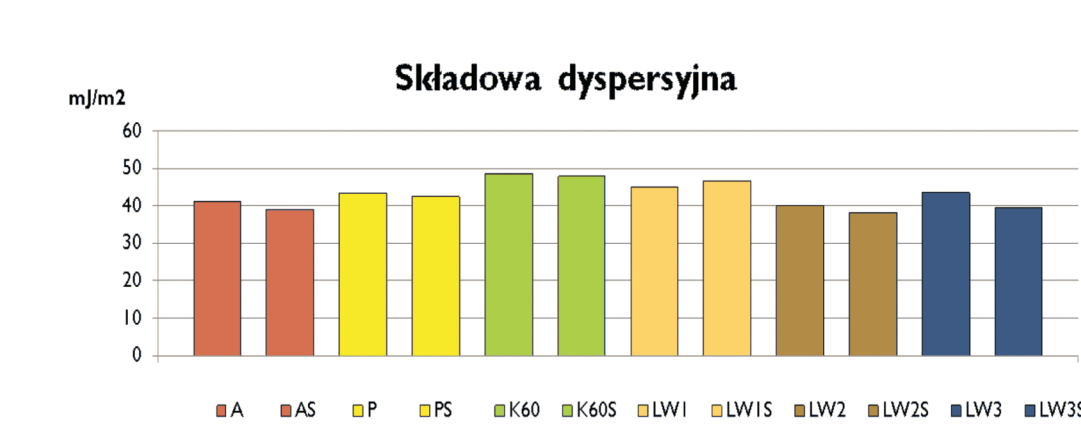
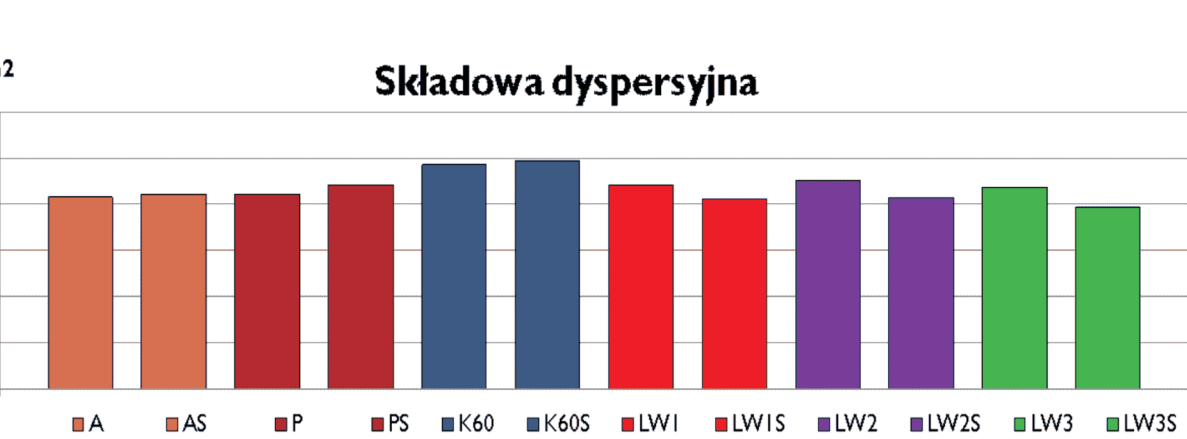
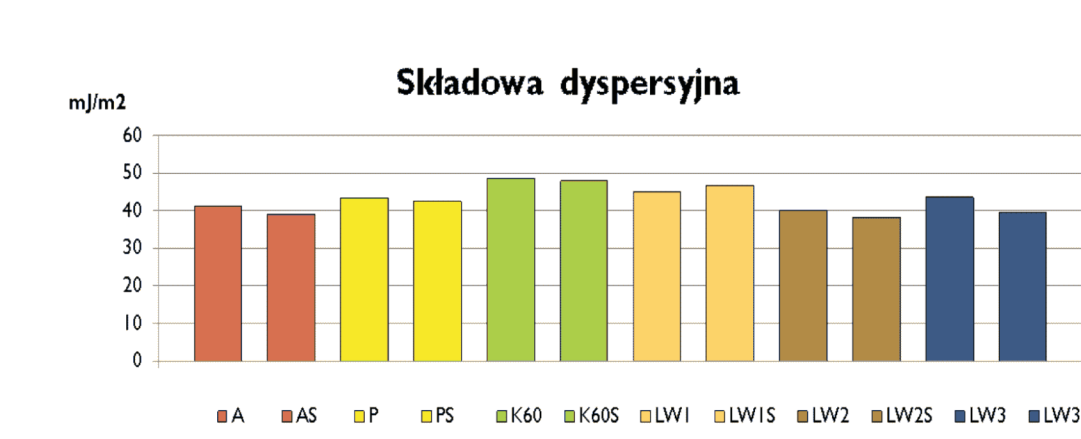
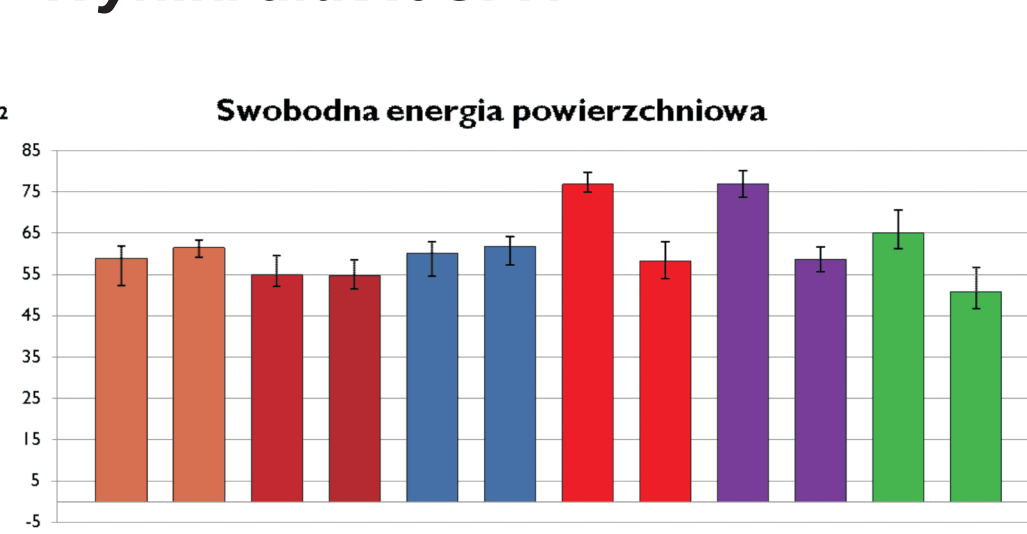
Swobodną energię powierzchniową wyznaczono tuż po obróbce oraz na próbkach starzonych 1 dobę w powietrzu w temperaturze pokojowej. Analiza miała na celu określenie zmian energii powierzchniowej w czasie.

Wartości swobodnej energii powierzchniowej

Wyniki dla Ti-6Al-4V



Wyniki dla X6Cr17



Badania nośności statycznej w warunkach ścinania

Do badań wytrzymałościowych wykonano próbki o wymiarach 25x100x2 (Ti-6Al-4V) i 25x100x1 (X6Cr17). Klejono połączenia jednozakładowe o dł. zakładki 12,5 mm, z jednakowym i stałym dociskiem, w temp. 24C, przy wilgotności ok. 30%. Wykorzystano kleje:

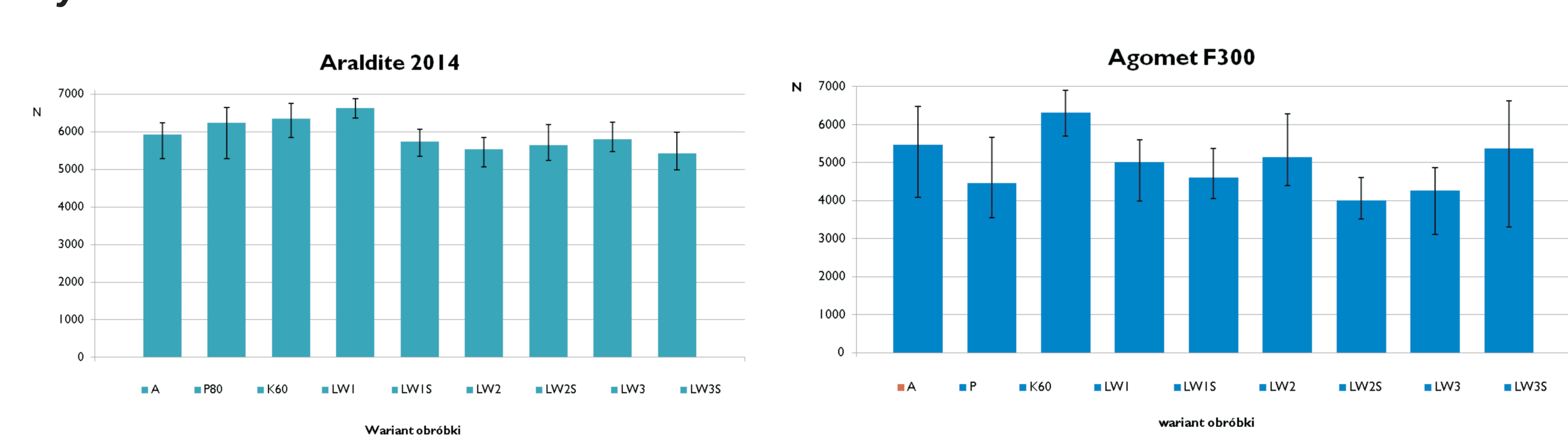
- epoksydowy dwuskładnikowy - Araldit 2014-1
- jednoskładnikowy metakrylowy - Araldit (Agomet) F300



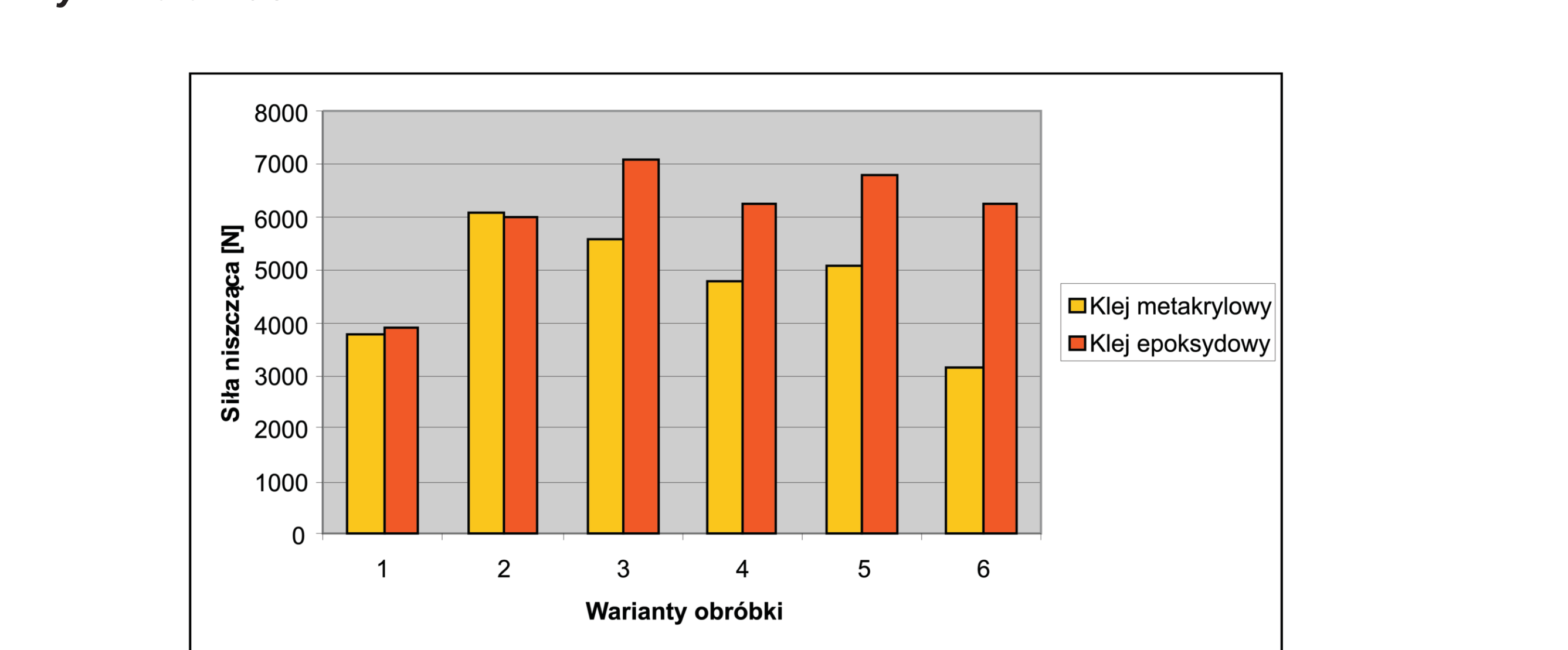
Testy wytrzymałościowe przeprowadzono na maszynie INSTRON 3382 w Laboratorium Badań Materiałów dla Przemysłu Lotniczego Politechniki Rzeszowskiej.

Wyniki badań eksperymentalnych nośności statycznej w warunkach ścinania

Wyniki dla Ti-6Al-4V



Wyniki dla X6Cr17



Wnioski

- Obróbka wiązki lasera jest skutecznym sposobem aktywacji powierzchni, co jest szczególnie potrzebne w klejeniu materiałowe
- Wzrost energii powierzchniowej jest istotny w porównaniu z powszechnie stosowanymi sposobami przygotowania powierzchni, jednak odnotowany spadek po upływie czasu wskazuje na konieczność przeprowadzania operacji klejenia bezpośrednio po obróbce wiązki lasera
- Uzyskane efekty – zwłaszcza fakt pominięcia wszystkich czynności związanych ze wstępem przygotowaniem powierzchni – wskazują na możliwość ograniczenia lub wyeliminowania szkodliwych substancji z procesu klejenia – w obecnym czasie poszukiwania technologii przyjaznych środowisku jest to pozytywny rezultat.
- Uzasadnione są dalsze badania nad opracowaniem wytycznych technologicznych oraz nad optymalizacją procesu ablacji laserowej powierzchni w kontekście klejenia różnych materiałów

Wyniki badań

Analiza wpływu struktury geometrycznej w układzie 3D na wytrzymałość zakładkowych połączeń klejowych

Proces technologiczny klejenia rozpoczyna ciąg operacji, których celem jest właściwe przygotowanie powierzchni łączonych elementów. Przygotowanie powierzchni do klejenia powinno zapewnić zadziałanie wszystkich mechanizmów wiążących (natury fizycznej, chemicznej i mechanicznej). Uzyskanie mocnych wiązań adhezyjnych w połączeniu klejowym jest możliwe wówczas gdy proces przygotowania powierzchni sprowadza:

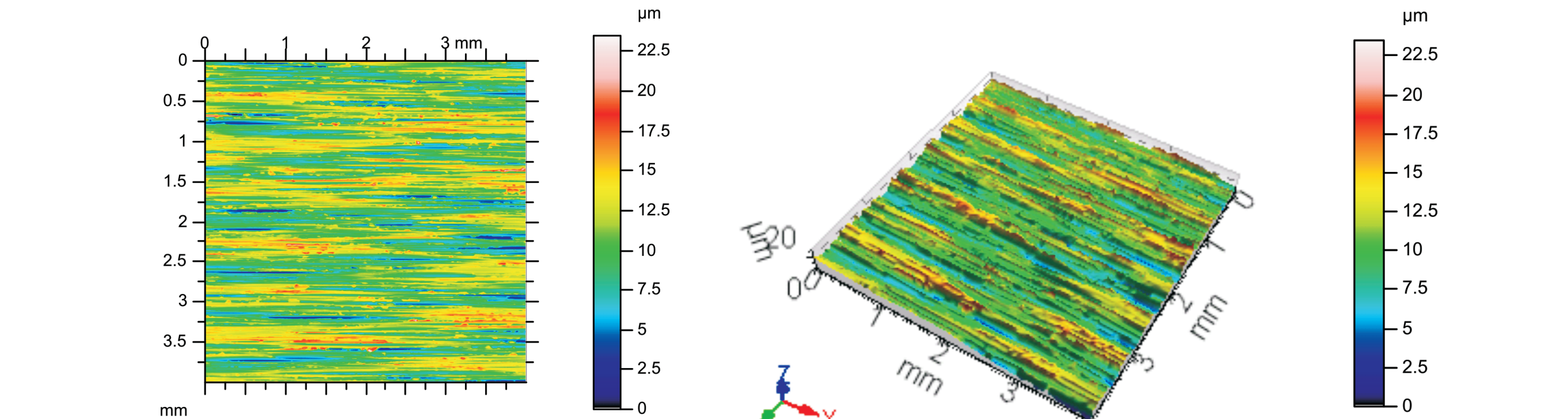
- usunięcie z łączonych elementów wszystkich zanieczyszczeń powierzchniowych,
- uzyskanie największego rozwinięcia powierzchni,
- uzyskanie dobrego uaktywnienia powierzchni.

W warunkach produkcyjnych uzyskanie wymienionych efektów realizowane jest różnymi metodami obróbki chemicznej lub mechanicznej.

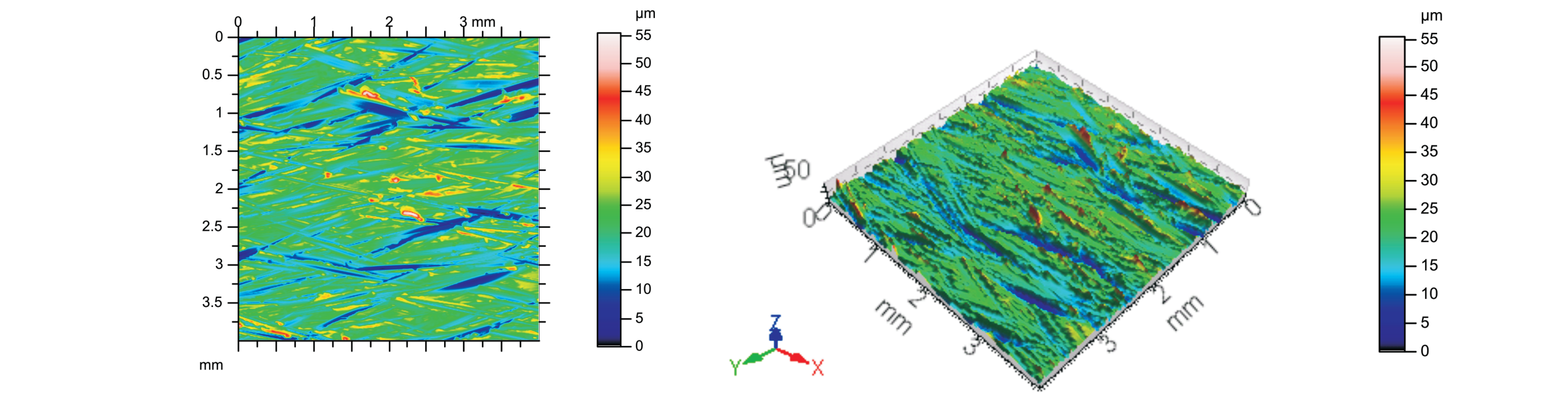
Postęp w badaniach struktury geometrycznej doprowadził do powstania urządzeń pomiarowych, umożliwiających badanie i rejestrację powierzchni w układzie przestrzennym. Opracowano również duży zbiór parametrów struktury geometrycznej powierzchni w układzie 3D dokładnie opisujących stan powierzchni. Celowym działaniem jest więc ustalenie, które z parametrów chropowatości w układzie 3D najlepiej opisują sposób przygotowania powierzchni do klejenia.

Powierzchnie klejonych próbek poddano wstępnej obróbce mechanicznej następującymi metodami: polerowanie, szlifowanie wzdłużne, obróbka ścierna wzdłużna i poprzeczna tarczą z nasypem diamentowym, szcrotkowanie wzdłużne i poprzeczne, obróbka strumieniowo-ścierna pneumatyczna i mechaniczna, śrutowanie strumieniowe mechaniczne odśrodkowe, kulowanie strumieniowe mechaniczne odśrodkowe kulkami stalowymi, walcowanie.

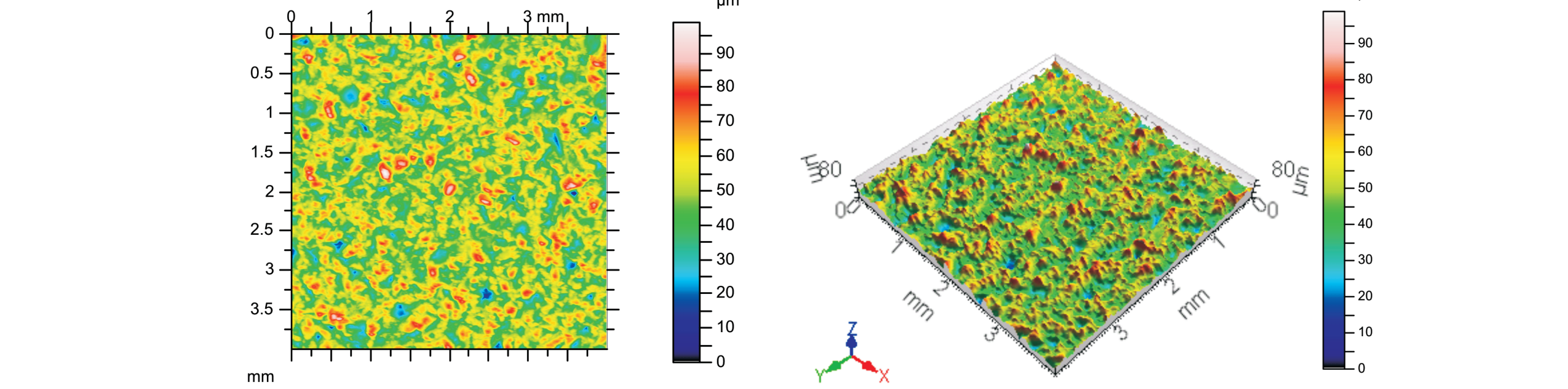
Pomiary chropowatości powierzchni w układzie 3D przeprowadzono profilografometrem TalyScan 150.



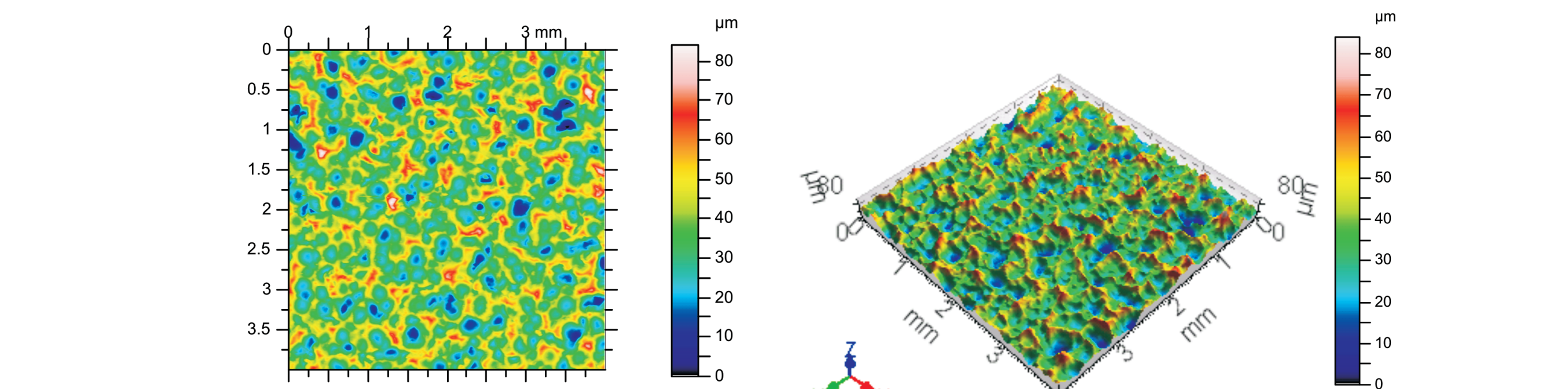
Rys. 1. Mapa warstwowa i widok izometryczny powierzchni szlifowanej wzdłużnie tarczą T1A200x20x51-99A-60-K-6-V (wariant SZLIFW)



Rys. 2. Mapa warstwowa i widok izometryczny powierzchni obrabianej tarczą z nasypem diamentowym (wariant TDIAM)



Rys. 3. Mapa warstwowa i widok izometryczny powierzchni obrabianej strumieniowo-ścierne mechanicznie odśrodkowo elektrokorundem (wariant KORM1)



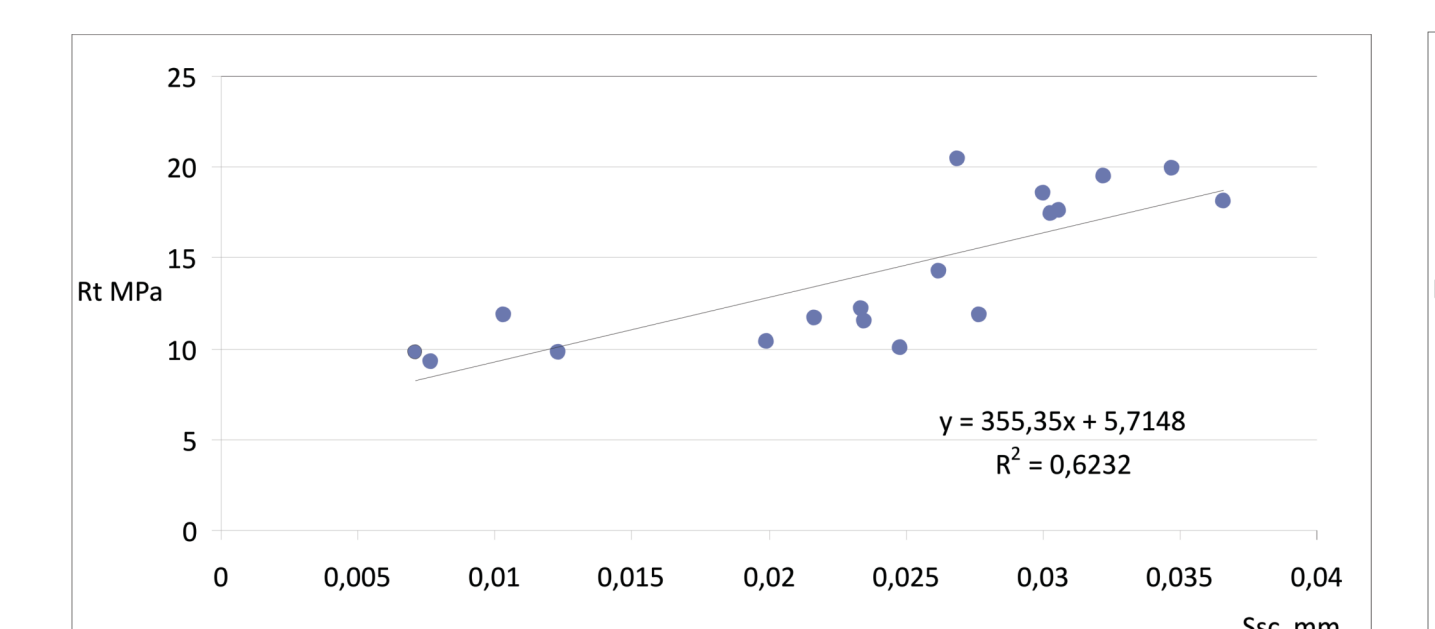
Rys. 4. Mapa warstwowa i widok izometryczny powierzchni kulowanej strumieniowo mechanicznie odśrodkowo kulkami stalowymi (wariant KUL1)

Próbki do badań wytrzymałości na ścinanie były wykonane zgodnie z PN-EN 1465:2003, zaś próbę rozciągania realizowano na maszynie FP-100 firmy Heckert. Uzyskane wyniki wskazują, że sposób przygotowania powierzchni w istotny sposób wpływa na właściwości wytrzymałościowe zakładkowych połączeń klejowych. Najmniejszą wytrzymałość na ścinanie posiadały próbki, których powierzchnie przed klejeniem obrabiono strumieniowo-ścierne elektrokorundem mechanicznie oraz pneumatycznie $R_t = 19,96 - 20,46$ MPa.

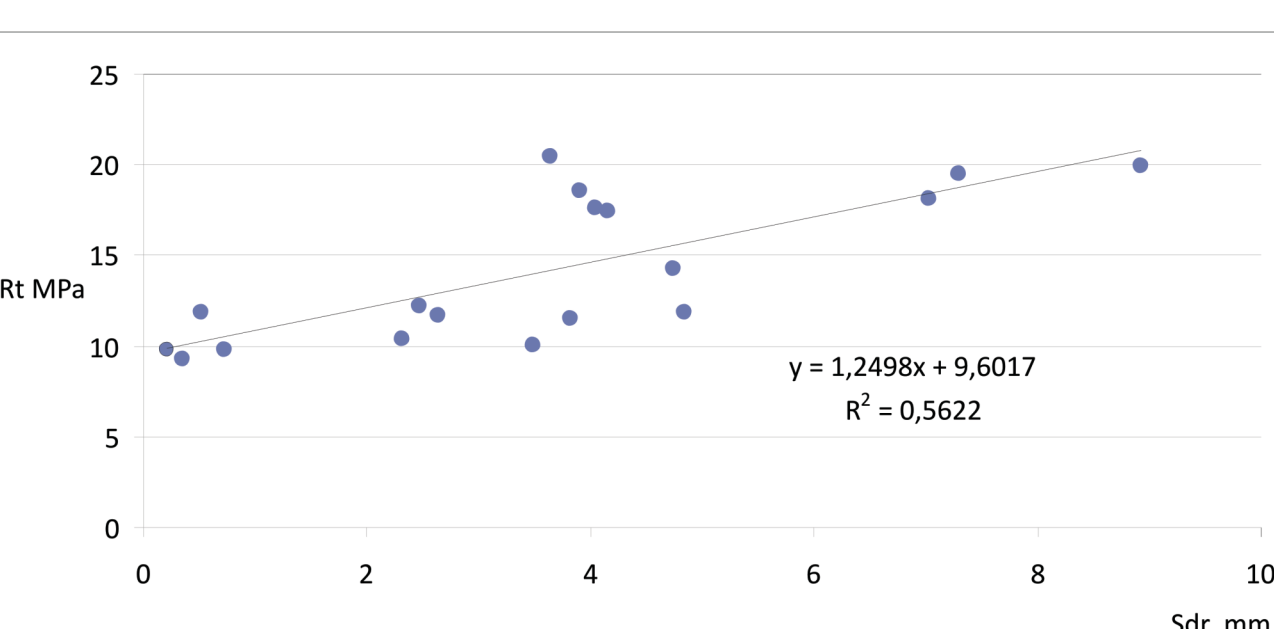
Tabela 1. Wyniki analizy regresji i korelacji liniowej pomiędzy wytrzymałością na ścinanie R_t połączeń klejowych ze stali S235JR a parametrami chropowatości Pch w układzie 3D powierzchni przygotowanych do klejenia różnymi metodami

Parametry chropowatości Pch	Wytrzymałość na ścinanie $R_t = a \cdot Pch + b$			
	a	b	R	D = R ²
Parametry amplitudy				
Sa	0,575	11,833	0,3297	0,1087
Sb	0,478	11,712	0,3473	0,1208
Sz	0,089	10,488	0,4881	0,2382
Ssk	4,736	13,182	0,3685	0,1358
Sku	3,230	2,508	0,4022	0,1622
Sp	0,128	10,625	0,5441	0,2960
Sv	0,198	10,854	0,4799	0,2303
Sr	0,077	10,384	0,5418	0,2936
Parametry przeszerzonne				
Sr	6,982	10,097	0,5496	0,2988
Srj	-0,020	14,817	-0,3175	0,10017
SaI	-41,684	17,517	-0,5023	0,2523
Parametry hybrydowe				
Sdq	28,330	8,320	0,7363	0,5421
Sds	0,0005	13,976	0,0141	0,002
Ssc	305,35	5,715	0,7894	0,6232
Sdr	1,260	9,002	0,7498	0,5622
Sfd	27,853	-81,413	0,4019	0,1615
Parametry pola i objętości				
Smr	-379,63	18,59	-0,2565	0,0658
Sdc	0,217	11,818	0,3311	0,1098
Parametry funkcyjne				
Sf	0,185	12,969	0,3231	0,1044
Sfk	0,685	10,744	0,5088	0,2599
Sfv	0,619	11,543	0,3899	0,1520
Sfr	0,229	11,596	0,1549	0,0240
Srz	0,415	23,519	0,1909	0,0324
Indeksy funkcyjne				
Sbj	-14,681	18,615	-0,3909	0,1528
Svj	-24,223	16,674	-0,1122	0,0126

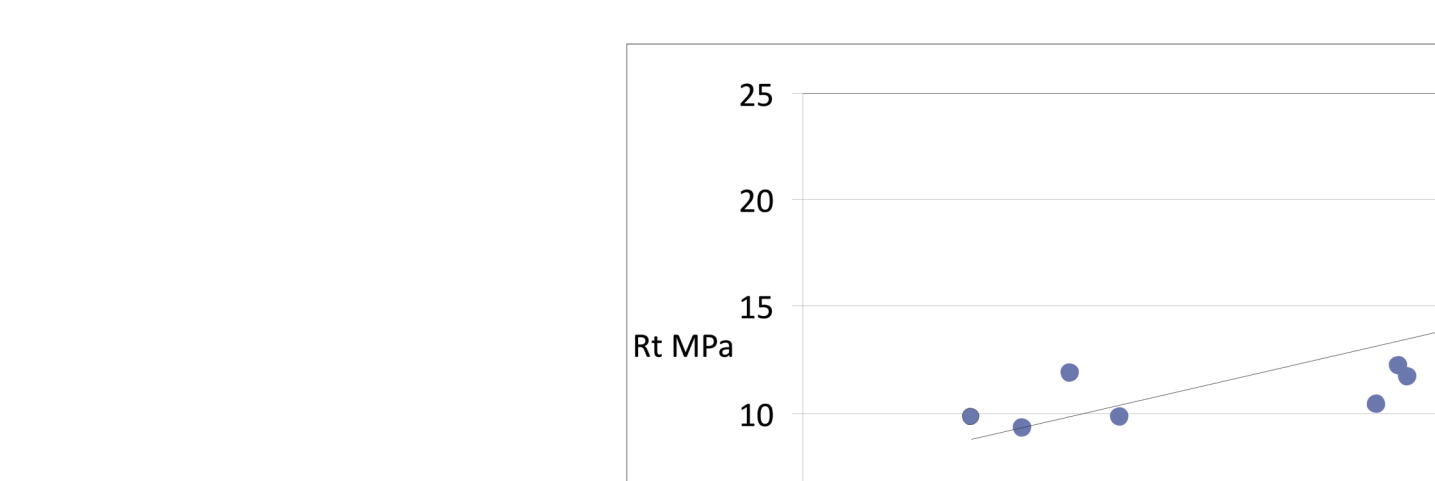
Wyniki regresji i korelacji liniowej pomiędzy wytrzymałością na ścinanie zakładkowych połączeń ze stali 235 JR klejonych kompozycją Epidian 5 + PAC przedstawiono w tabeli 1 oraz na rys. 5-7. Przeprowadzona analiza wykazała, że wytrzymałość na ścinanie najmocniej skorelowana jest ze średnią arytmetyczną krzywizną wierzchołków Ssc ($R = 0,7894$), rozwinięciem polem międzyfazowym Sdr ($R = 0,7498$) oraz nachyleniem średniokwadratowym Sdq ($R = 0,7363$).



Rys. 5. Zależność wytrzymałości na ścinanie R_t zakładkowych połączeń klejowych ze stali S235JR od średniej arytmetycznej krzywizny wierzchołka Ssc



Rys. 6. Zależność wytrzymałości na ścinanie R_t zakładkowych połączeń klejowych ze stali S235JR od rozwiniętego pola międzyfazowego Sdr



Rys. 7. Zależność wytrzymałości na ścinanie R_t zakładkowych połączeń klejowych ze stali S235JR od nachylenia średniokwadratowego Sdq

Wnioski

Wykonana w pracy kompleksowa ocena wpływu struktury stereometrycznej w układzie 3D powierzchni łączonych elementów na wytrzymałość zakładkowych połączeń klejowych pozwoliła zweryfikować i uzupełnić wiedzę na temat adhezji mechanicznej pomiędzy spoiną klejową a łączonymi częściami.

Przeprowadzone badania eksperymentalne wykazały, że wytrzymałość na ścinanie R_t zakładkowych połączeń klejowych sklejonych kompozycją klejową Epidian 5 + PAC, wykazuje znaczne uzależnienie od rozwinięcia powierzchni, charakteryzowanego parametrami hybrydowymi: średnią arytmetyczną krzywizną wierzchołków Ssc ($R = 0,7894$), rozwinięciem polem międzyfazowym Sdr ($R = 0,7498$) oraz nachyleniem średniokwadratowym Sdq ($R = 0,7363$). Współczynnik korelacji liniowej pomiędzy wytrzymałością na ścinanie badanych połączeń klejowych a parametrami amplitudy oraz przestrzennymi wynosił $R = 0,31 - 0,54$ natomiast z parametrami pola i objętości, funkcyjnymi oraz indeksami funkcyjnymi uzyskiwał wartość $R = 0,11 - 0,39$.

Parametry hybrydowe Ssc, Sdr, Sdq można zatem wykorzystać do kontroli poprawności przygotowania powierzchni oraz prognozowania wytrzymałości na ścinanie zakładkowych