

Mariusz KŁONICA

Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Lublin

e-mail: m.klonica@pollub.pl

## Analiza powierzchni po cięciu strugą wodno-ścierną klejonych materiałów polimerowych

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań cięcia próbek polimerowych klejonych różnymi klejami epoksydowymi. Próbkę wykonano z następujących materiałów polimerowych: ABS (akrylonitryl-butadien-styren), poliamid PA6, polietylen PE300, polietylen PE500 oraz polipropylen PP-H. Proces cięcia realizowano z wykorzystaniem technologii „waterjet” ze stałymi parametrami pracy. W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące: chropowatości powierzchni oraz swobodnej energii powierzchniowej klejonych materiałów polimerowych. Przedstawiono również wyniki badań z pomiarów prowadzonych na powierzchni powstałej w wyniku cięcia łączonych materiałów i przedstawiają: topografię powierzchni, ukosowanie powstałej powierzchni oraz analizowano wybrane parametry chropowatości w strefie wejścia i wyjścia. Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań opracowano statystycznie z zachowaniem właściwych standardów naukowych. Pracę zakończono wnioskami.

**Słowa kluczowe:** klejenie polimerów, cięcie, obróbka strumieniowo-ścierna

### ANALYSIS OF SURFACE AFTER WITH ABRASIVE JET CUTTING OF ADHESIVELY JOINT POLYMERIC MATERIALS

**Summary.** The paper present the selected results of research on abrasive water jet cutting of polymeric samples joint using different epoxy adhesives. Samples were made of following polymeric materials: ABS (acrylonitrile butadiene styrene), PA6 polyamide, PE300 and PE500 polyethylene and PP-H polypropylene. Cutting process was carried out using waterjet technology with constant working parameters. The paper presents result of research on surface roughness and surface free energy of adhesively joint materials. Results of analysis of surface obtained after cutting the joint materials were shown: topography of surface, chamfering of obtained surface and selected roughness parameters in enter and exit zone. The obtained results of the conducted research have been elaborated statistically with respect to the appropriate scientific standards. Conclusions from the tests are presented at the final stage of the paper.

**Keywords:** polymers bonding, cutting, abrasive jet cutting

### 1. WSTĘP

Spośród różnych rodzajów wykonywanych w przemyśle (maszynowym, samochodowym, lotniczym) połączeń materiałów konstrukcyjnych, połączenia klejowe zyskują coraz to większe znaczenie [1,2,4]. Od dawna wiadomo, że dobre efekty klejenia zależą w znacznym stopniu od zastosowanej technologii obróbki powierzchni, a właściwie warstwy wierzchniej łączonych materiałów [5,6,11÷13]. Technologia klejenia, dzięki dynamicznemu postępowi w dziedzinie chemii materiałów adhezyjnych, ciągle się rozwija. Skuteczność wykonywania

połączeń klejowych w dużym stopniu zależy od doboru odpowiedniego kleju oraz zastosowania odpowiedniej technologii przygotowania warstwy wierzchniej [5÷10].

We współczesnej technice stosunkowo dużo konstrukcji klejowych jest poddawanych dalszej obróbce mechanicznej, między innymi: frezowaniu, wierceniu czy cięciu. Operacje te mogą być operacjami końcowymi, co ma decydujące znaczenie podczas eksploatacji danego elementu. Czasami zdarza się, że tak obrabiony element stanowi część procesu technologicznego, w takim przypadku ważne jest, aby zachować jednorodność spoiny klejowej.

Celem pracy była ocena wpływu obróbki (cięcie) strumieniem wodno-ściernym na ewentualne uszkodzenia polimerowych konstrukcji klejonych.

## 2. METODYKA BADAŃ

W badaniach wykorzystano próbki z następujących materiałów polimerowych: ABS (akrylonitryl-butadien-styren) o grubości 3 mm, poliamid PA6 (grubość 4 mm), polietylen PE 300 (grubość 3 mm), polietylen PE 500 (grubość 3 mm) oraz polipropylen PP-H (grubość 3 mm). Wymiary próbek to 20x100 mm. Badane próbki poddano obróbce mechanicznej narzędziem nasypowym o ziarnistości P320 w czasie 30 sekund. Wszystkie próbki oczyszczono i odtłuszczono środkiem odtłuszczającym Loctite 7061, a następnie sklejono w następujących wariantach: ABS – ABS, PA6 – PA6, PE 300 – PE 300, PE 500 – PE 500 oraz PP-H – PP-H. W badaniach wykorzystano klej epidian 5 z utwardzaczem PAC w ilości 80% oraz klej Hysol 9484 firmy Loctite. Proces sieciowania kleju przebiegał w temperaturze otoczenia wynoszącej 20÷22°C, przy wilgotności względnej (35 – 45)%. Wartość ciśnienia jednostkowego wywieranego na powierzchni próbek w procesie klejenia wynosiła 0,2 MPa. Czas utwardzania ustalono na poziomie 168 godzin.

Do pomiarów kąta zwilżania powierzchni próbek polimerowych przed sklejeniem oraz do wyznaczenia wartości swobodnej energii powierzchniowej SEP zastosowano goniometr PGX. Użyte ciecze do pomiarów kąta zwilżania наносzono na badaną powierzchnię w sposób automatyczny, w postaci kropli o stałej objętości 4 µl, przez mechanizm goniometru. Pomiar kąta zwilżania zarówno wodą destylowaną jak i diiodometanem był wykonany minimum dziesięć razy na każdej z badanych próbek tworzywa polimerowego.

Pomiary chropowatości powierzchni przeprowadzono na urządzeniu do pomiaru konturu, chropowatości i topografii 3D T8000 RC-120–400 firmy Hommel-Etamic z końcówką pomiarową o promieniu 2 µm. Długość odcinka elementarnego dobrano na podstawie literatu-

ry [3]. Z przeprowadzonych badań uzyskano wyniki następujących parametrów chropowatości powierzchni: Ra – średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości, Rp – maksymalna wysokość piku profilu chropowatości, Rq – odchylenie średnie kwadratowe profilu chropowatości, Rt – całkowita wysokość profilu chropowatości, Rz – maksymalna wysokość profilu chropowatości. Przedstawione parametry z badań są zgodne z normą PN-EN ISO 4287:1999/A1:2010P [14].

Proces cięcia klejonych próbek polimerowych realizowano z wykorzystaniem technologii „waterjet” na urządzeniu firmy Eckert o nazwie Opal Waterjet Combo wyposażonej w sterownik CNC ECS 872. Prędkość posuwu podczas badań wynosiła 500 mm/min.

W badaniach wykorzystano również mikroskop Keyence VHX-5000 w celu obrazowania i pomiarów kąta ukosowania powierzchni powstałej w skutek cięcia strugą wodno-ścierną.

## 3. WYNIKI BADAŃ

W tabeli 1 przedstawiono uśrednione wyniki (z 10 pomiarów) wartości swobodnej energii powierzchniowej SEP użytych materiałów polimerowych po obróbce mechanicznej narzędziem nasypowym o ziarnistości P320. W tabeli zestawiono również składowe SEP: składową polarną SEP oraz składową dyspersyjną SEP. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie, a jako miarę rozrzutu podano wartość odchylenia standardowego. Przed wykonaniem pomiarów kąta zwilżania, na podstawie, których oszacowano wartość SEP, powierzchnie próbek oczyszczono oraz odtłuszczono trzykrotnie środkiem odtłuszczającym Loctite 7063. Wyznaczenie SEP wykonano w celu określenia poprawności przygotowania warstwy wierzchniej do operacji klejenia.

W tabeli 2 przedstawiono uśrednione wartości wybranych parametrów chropowatości powierzchni materiałów polimerowych po obróbce mechanicznej narzędziem nasypowym o ziarnistości P320.

Tabela 1. Swobodna energia powierzchniowa oraz jej składowe materiałów polimerowych

Table 1. Surface free energy and its components polymer materials

Materiał		SEP [mJ/m <sup>2</sup> ]	Składowa polarna SEP [mJ/m <sup>2</sup> ]	Składowa dyspersyjna SEP [mJ/m <sup>2</sup> ]
ABS	Wartość średnia	59,2	5,3	54,3
	Odchylenie standardowe	2,85	1,85	1,06
PA6	Wartość średnia	54,6	7,8	46,7
	Odchylenie standardowe	2,3	0,36	0,97
PE300	Wartość średnia	46,7	3,8	43,2
	Odchylenie standardowe	1,71	0,79	1,06
PE500	Wartość średnia	50,3	4,4	45,8
	Odchylenie standardowe	1,72	1,52	0,66
PP-H	Wartość średnia	46,4	5,7	40,7
	Odchylenie standardowe	2,4	0,64	2,18

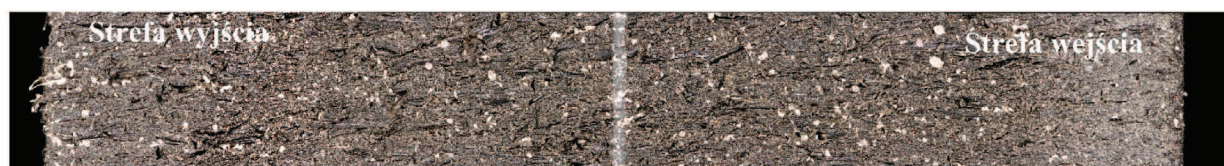
Tabela 2. Parametry chropowatości powierzchni materiałów klejonych

Table 2. Parameters of bonding surface roughness

Materiał		Rp[ $\mu\text{m}$ ]	Rz[ $\mu\text{m}$ ]	Rt[ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rq[ $\mu\text{m}$ ]
ABS	Wartość średnia	2,82	5,36	9,18	0,73	1,6
	Odchylenie standardowe	0,156	0,173	0,423	0,084	0,162
PA6	Wartość średnia	1,92	6,34	8,18	0,63	1,1
	Odchylenie standardowe	0,186	0,143	0,323	0,054	0,142
PE300	Wartość średnia	2,54	7,14	7,22	0,54	1,2
	Odchylenie standardowe	0,212	0,184	0,236	0,072	0,122
PE500	Wartość średnia	3,11	7,18	8,98	0,78	1,8
	Odchylenie standardowe	0,206	0,183	0,421	0,087	0,242
PP-H	Wartość średnia	2,52	5,84	7,84	0,68	1,4
	Odchylenie standardowe	0,156	0,233	0,413	0,032	0,171

Na uwagę zasługuje fakt, że przeprowadzona obróbka mechaniczna narzędziami nasypowymi o ziarnistości P320 skutecznie rozwija analizowaną powierzchnię w znaczeniu geometrycznym.

Na rysunku 1 przedstawiono powierzchnię przeciętej próbki z widoczną spoiną klejową. Na rysunku można dostrzec różnice w topografii w strefie wejścia oraz wyjścia strugi wodno-ściernej.

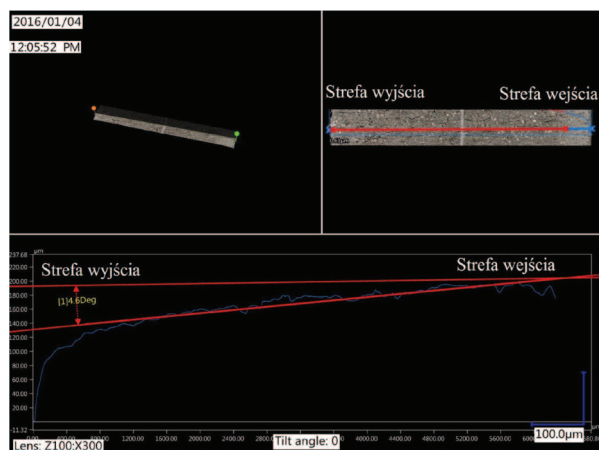


Rys. 1. Powierzchnia tworzywa ABS sklejonego klejem Hysol 9484 po przecięciu strugą wodno-ścierną

Fig. 1. The surface of ABS plastic glued with adhesive Hysol 9484 after water jet cutting

Rysunek 1 stanowi przykład powstałej powierzchni po cięciu strugą wodno-ścierną. Próbka została wykonana z tworzywa polimerowego o nazwie ABS sklejonego klejem Hysol 9484.

Na rysunku 2 jako przykład pomiaru kąta ukosowania powierzchni po cięciu strugą wodno-ścierną przedstawiono próbkę wykonaną z materiału o nazwie ABS sklejonego klejem Hysol 9484.



Rys. 2. Kąt ukosowania powierzchni próbki wykonanej z ABS klejonego klejem Hysol 9484 po cięciu strugą wodno-ścierną

Fig. 2. The angle of the bevel of the sample surface made of ABS laminated adhesive Hysol 9484 after cutting jet of water and abrasive

Na podstawie badań oraz przeprowadzonej analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że strefa wyjścia jest zakończona promieniem.

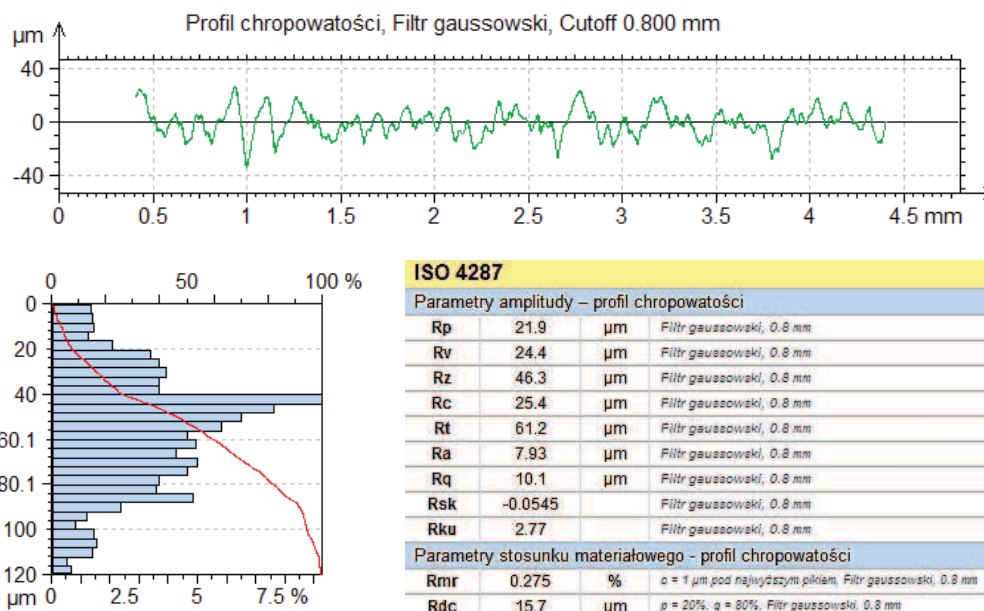
W tabeli 3 przedstawiono wyniki pomiarów kąta ukosowania próbek po cięciu strugą wodno-ścierną. Największą wartość tego

kąta zaobserwowano dla próbek wykonanych z poliamidu PA6 klejonych klejem epidian 5 z dodatkiem utwardzacza PAC w ilości 80%, natomiast najmniejszą wartością kąta ukosowania po cięciu charakteryzowały się próbki wykonane z polipropylenu PP-H klejonych epidianem 5 z utwardzaczem PAC. Dla próbek klejonych klejem Hysol 9484 najmniejsze wartości kąta ukosowania były dla próbek wykonanych z polipropylenu PP-H i wynosiły  $2^{\circ}18'$ , a największe o wartości  $5^{\circ}12'$  zanotowano dla próbek wykonanych z polietylenu PE 500.

Tabela 3. Kąt ukosowania próbek po cięciu strugą wodno-ścierną

Table 3. The angle of the bevel samples after cutting jet of water and abrasive

Materiał / Klej	Hysol 9484	E5+PAC_80%
ABS – ABS	$4^{\circ}36'$	$4^{\circ}30'$
PA6 – PA6	$3^{\circ}6'$	$8^{\circ}48'$
PE300 – PE 300	$2^{\circ}54'$	$2^{\circ}30'$
PE500 – PE 500	$5^{\circ}12'$	$4^{\circ}36'$
PP-H – PP-H	$2^{\circ}18'$	$1^{\circ}54'$



Rys. 3. Raport z pomiarów parametrów chropowatości powierzchni powstałej po cięciu PE500 klejonych klejem Hysol 9484 w strefie wejścia

Fig. 3. The report of measurements of the surface roughness formed after cutting PE500 bonded with adhesive Hysol 9484 in the entrance area

Na rysunku 3 przedstawiono raport z pomiarów wybranych parametrów chropowatości powierzchni powstałej po cięciu strugą wodno-ścierną. Jako przykład raportu przedstawiono wyniki badań dla próbek wykonanych z polietylenu PE 500 klejonych klejem Hysol 9484, pomiary wykonano w strefie wejścia. Raport z pomiarów parametrów chropowatości powierzchni zawiera profil chropowatości, krzywą Abbotta-Firestone'a oraz tabelę z wartościami liczbowymi wybranych parametrów chropowatości. Krzywa Abbotta-Firestone'a

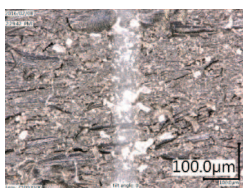
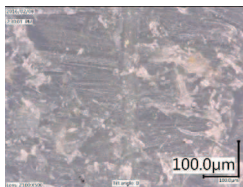
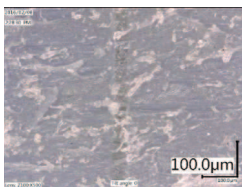
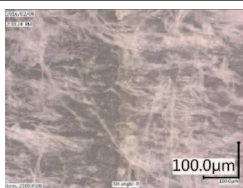
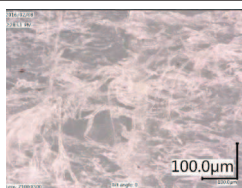
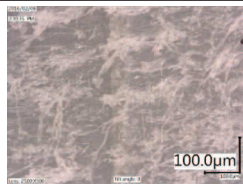
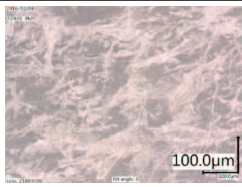
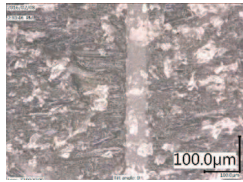
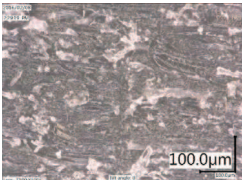
przedstawia udział materiałowy profili chropowatości powierzchni.

W tabeli 4 zestawiono fotografie powierzchni materiałów polimerowych uzyskanych po cięciu strugą wodno-ścierną. Fotografie przedstawione w tabeli 3 zostały wykonane przy powiększeniu 500 razy. Można dostrzec wyraźną granicę między materiałem próbki a spoiną klejową.

Po przeprowadzonej analizie fotografii nie stwierdzono rozwarstwienia próbek po cięciu strugą wodno-ścierną, co jest korzystne ze względów eksploatacyjnych.

**Tabela 4. Fotografie powierzchni powstałej po cięciu strugą wodno-ścierną**

**Table 4. Photographs of surface formed after cutting jet of water and abrasive**

Materiał Klej	Hysol 9484	E5+PAC_80%
	ABS – ABS	
PA6 – PA6		
PE300 – PE 300		
PE500 – PE 500		
PP-H – PP-H		

W tabeli 5 zestawiono wyniki badań chropowatości powierzchni po cięciu dla materiałów klejonych klejem epidian 5 z dodatkiem utwardzacza PAC w ilości 80%.

Analizie poddano następujące parametry chropowatości powierzchni: Rp, Rz, Rt, Ra, Rq. Pomiary chropowatości powierzchni wykonywano prostopadle do śladów po cięciu. Zarówno

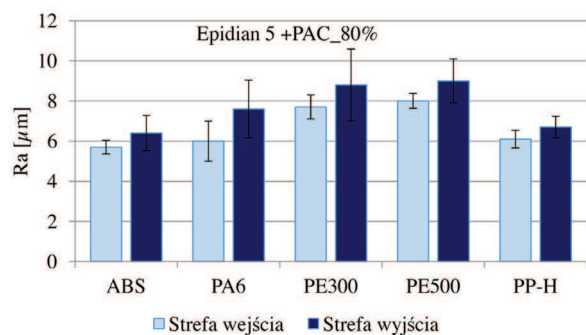
dla strefy wejścia jak i wyjścia wykonano minimum pięć pomiarów. W tabeli 5 przedstawiono uśrednione wartości parametrów chropowatości wraz z odchyleniem standardowym.

Na rysunku 4 przedstawiono wpływ rodzaju materiału próbek przecinanych na wartość parametru Ra chropowatości powierzchni mierzonego w strefie wejścia i wyjścia.

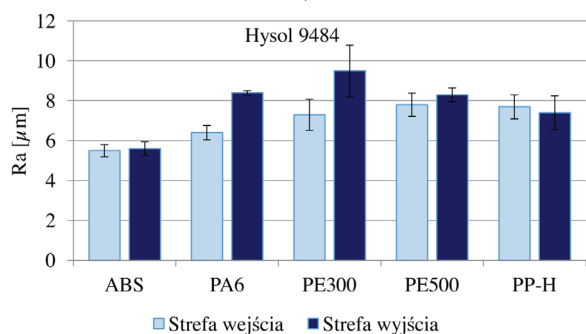
**Tabela 5. Wyniki badań chropowatości dla materiałów klejonych E5+PAC 80%**

**Table 5. Results of roughness adherends E5 + PAC 80%**

Materiał		Parametry amplitudy					
		Rp[ $\mu\text{m}$ ]	Rz[ $\mu\text{m}$ ]	Rt[ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rq[ $\mu\text{m}$ ]	
ABS	Strefa wejścia	Wartość średnia	13,7	31,0	38,5	5,7	6,9
		Odchylenie standardowe	1,08	2,48	1,14	0,34	0,37
	Strefa wyjścia	Wartość średnia	16,5	36,9	47,6	6,4	8,0
		Odchylenie standardowe	1,39	3,40	2,69	0,88	0,98
PA6	Strefa wejścia	Wartość średnia	18,6	33,3	50,0	6,0	7,6
		Odchylenie standardowe	4,25	2,83	4,45	1,00	1,46
	Strefa wyjścia	Wartość średnia	25,7	47,9	62,8	7,6	9,6
		Odchylenie standardowe	3,26	2,06	4,16	1,44	1,79
PE300	Strefa wejścia	Wartość średnia	19,2	45,1	55,3	7,7	9,6
		Odchylenie standardowe	1,86	1,39	5,46	0,60	0,50
	Strefa wyjścia	Wartość średnia	22,7	51,5	67,9	8,8	11,1
		Odchylenie standardowe	0,84	1,39	2,98	1,79	2,46
PE500	Strefa wejścia	Wartość średnia	20,8	48,2	61,4	8,0	10,1
		Odchylenie standardowe	1,45	2,52	3,54	0,37	0,44
	Strefa wyjścia	Wartość średnia	25,7	51,9	72,4	9,0	11,4
		Odchylenie standardowe	1,76	7,37	4,78	1,10	1,69
PP-H	Strefa wejścia	Wartość średnia	16,8	34,3	44,5	6,1	7,6
		Odchylenie standardowe	0,93	2,05	4,82	0,44	0,47
	Strefa wyjścia	Wartość średnia	19,4	41,5	56,1	6,7	8,6
		Odchylenie standardowe	2,42	2,95	4,39	0,55	0,65



a)

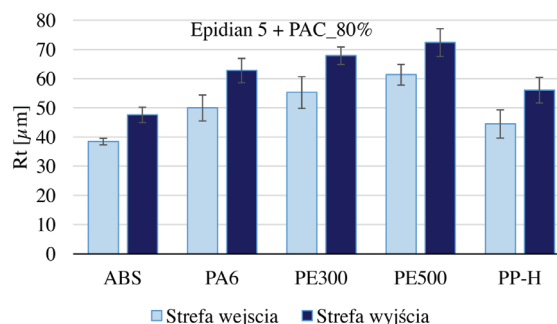


b)

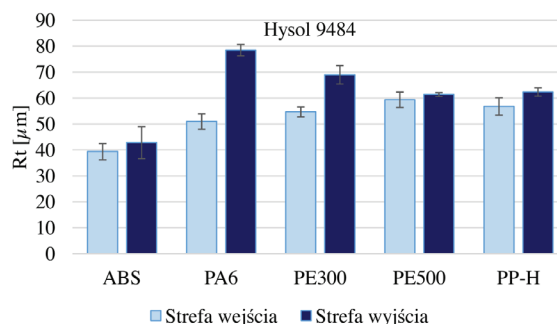
Rys. 4. Parametr Ra chropowatości powierzchni po cięciu w strefie wejścia i wyjścia: a) próbki klejone klejem epidian 5 z utwardzaczem PAC, b) próbki klejone klejem Hysol 9484  
 Fig. 4. The Ra surface roughness parameter after cutting in the area of inputs and outputs: a) a sample glued glue Epidian 5 with hardener PAC, b) samples glued adhesive Hysol 9484

Po przeprowadzonych badaniach stwierdzono wzrost wartości parametru Ra chropowatości powierzchni w strefie wyjścia w stosunku do wartości tego parametru w strefie wejścia. Zarówno dla kleju epidian 5 z utwardzaczem PAC jak i dla kleju Hysol 9484 największy wzrost wartości parametru Ra w strefie wyjścia zaobserwowano dla próbek wykonanych z poliamidu PA6 i polietylenu PE 300 w stosunku do strefy wejścia. Wzrost ten dla próbek wykonanych z PA6 wynosił około 30% (dla kleju epidian 5 + PAC oraz kleju Hysol 9484), natomiast dla próbek wykonanych z PE 300 klejonych klejem epidian 5 + PAC wzrost ten był na poziomie 15%, a dla próbek klejonych klejem Hysol 9484 wynosił około 30%.

Na rysunku 5 przedstawiono wpływ rodzaju materiału próbek przycinanych na wartość parametru Rt chropowatości powierzchni mierzonego w strefie wejścia i wyjścia.



a)



b)

Rys. 5. Parametr Rt chropowatości powierzchni po cięciu w strefie wejścia i wyjścia: a) próbki klejone klejem epidian 5 z utwardzaczem PAC, b) próbki klejone klejem Hysol 9484  
 Fig. 5. The Rt surface roughness parameter after cutting in the area of inputs and outputs: a) a sample glued glue Epidian 5 with hardener PAC, b) samples glued adhesive Hysol 9484

Rysunek 5a przedstawia wartości parametru Rt chropowatości powierzchni próbek klejonych klejem epidian 5 + PAC, natomiast na rysunku 5b przedstawiono wartości parametru Rt próbek klejonych klejem Hysol 9484. Dla próbek klejonych klejem epidian 5 + PAC największy wzrost parametru Rt w strefie wyjścia zanotowano dla próbek wykonanych z poliamidu PA6 oraz z polipropylenu PP-H w stosunku do parametru Rt w strefie wejścia, wzrost ten wynosił około 25%. Najmniejszy wzrost parametru Rt zarejestrowano dla próbek wykonanych z PE 500 i wynosi 18%. Największy wzrost wartości parametr Rt chropowatości powierzchni w strefie wyjścia dla próbek klejonych klejem Hysol 9484 zarejestrowano dla poliamidu PA6 i wynosił 54% w stosunku do parametru Rt w strefie wejścia.

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące, ważniejsze wnioski:

Po przeprowadzonej analizie fotografii powierzchni powstałej po cięciu strugą wodno-ścierną nie stwierdzono rozwarstwień lub innych uszkodzeń w strefie złącza klejowego.

Największą wartość kąta ukosowania zaobserwowano dla próbek wykonanych z poliamidu PA6 klejonych klejem epidian 5 z dodatkiem utwardzacza PAC w ilości 80% i wynosiła 8°48', a najmniejszą wartość zarejestrowano dla próbek wykonanych z polipropylenu PP-H, dla kleju epidian 5 + PAC i wynosiła 1°54'.

Po przeprowadzonych badaniach stwierdzono wzrost wartości parametru Ra chropowatości powierzchni w strefie wyjścia w stosunku do wartości tego parametru w strefie wejścia. Zarówno dla kleju epidian 5 + PAC jak i dla kleju Hysol 9484 największy wzrost wartości parametru chropowatości powierzchni Ra w strefie wyjścia zaobserwowano dla próbek wykonanych z poliamidu PA6 i polietylenu PE 300 w stosunku do strefy wejścia.

Największy wzrost wartości parametr Rt chropowatości powierzchni w strefie wyjścia dla próbek klejonych klejem Hysol 9484 zarejestrowano dla poliamidu PA6 i wynosił 54% w stosunku do parametru Rt w strefie wejścia.

Przeprowadzone badania cięcia klejonych próbek polimerowych strugą wodno-ścierną wymagają kontynuacji, zarówno dla potwierdzenia uzyskanych wyników jak też rozszerzenia o wpływ innych zmiennych niezależnych.

## LITERATURA

- Blicharski M.: *Inżynieria powierzchni*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 2009.
- Ciecińska B., Perłowski R.: *Swobodna energia powierzchniowa wybranych materiałów lotniczych po obróbce laserowej*. Technologia i Automatyzacja Montażu 2013 (1), s. 56–62.
- Humienny Z. (red.): *Specyfikacje Geometrii Wyrobów (GPS) – wykład dla uczelni technicznych*. Oficyna wydawnicza PW, 2001, s. 540.
- Jańczuk B., Białopiotrowicz T.: *Swobodna energia powierzchniowa niektórych polimerów*. Polimery 1987, 32 s. 269–271.
- Kłonica M.: *Comparative analysis of shear strength of single-lap adhesive joints after "thermal shock"*. Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications, Switzerland: 2015, 791, s. 224–231.
- Kłonica M.: *Impact of thermal fatigue on young's modulus of epoxy adhesives*. Advances in Science and Technology Research Journal – 2015, 9, nr 29, s. 103–106.
- Kłonica M., Kuczmaszewski J., Samborski S.: *Effect of a notch on impact resistance of the epidian 571 Z1 epoxy material after „thermal shock"*. Solid State Phenomena. Trans Tech Publications, Switzerland: 2016, 240, s. 161–167.
- Kłonica M., Kuczmaszewski J., Kwiatkowski M., Ozonok J.: *Polyamide 6 surface layer following ozone treatment*. International Journal of Adhesion and Adhesives 2016, 64, s. 179–187.
- Kuczmaszewski J.: *Fundamentals of metal-metal adhesive joint design*. Politechnika Lubelska. Oddział PAN w Lublinie, 2006.
- Kwiatkowski M., Kłonica M., Kuczmaszewski J., Satoh S.: *Comparative analysis of energetic properties of Ti6Al4V titanium and EN-AW-2017A(PA6) aluminum alloy surface layers for an adhesive bonding application*. Ozone-Science & Engineering, 2013, 35, nr 3, s. 220–228.
- Skoczylas A.: *Analiza porównawcza procesu cięcia wiązką laserową i strumieniem wodno-ściernym*. Advances in Science and Technology 2011, nr 8, s. 121–128.
- Zielecki W., Pawlus P., Perłowski R., Dzierwa A.: *Surface topography effect on strength of lap adhesive joints after mechanical pre-treatment*. Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2013, 13, nr 2, s. 175–185.
- Żenkiewicz M.: *Adhezja i modyfikowanie warstw wierzchniej tworzyw wielkocząsteczkowych*. WNT, Warszawa 2000.
- PN-EN ISO 4287:1999/A1:2010P: *Specyfikacje geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni*.

Publikację przyjęto do druku: 13-03-16