

Bożena CIAŁKOWSKA<sup>1</sup>  
Magdalena WIŚNIEWSKA<sup>2</sup>  
Patrik ANDRZEJEWSKI

## PROBLEMATYKA PRZECINANIA WYBRANYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH STRUNĄ ZBROJONĄ TRWALE

W artykule omówiono nowoczesne materiały kompozytowe, ich podział, budowę oraz obszary zastosowań. Opisano możliwości ich obróbki i jej problematykę, ze szczególnym uwzględnieniem metod ściernych. Zaprezentowano efekty, jakie można uzyskać w procesie przecinania strunowego wybranych kompozytów oraz przedstawiono zagadnienie temperatury w strefie cięcia.

**Słowa kluczowe:** kompozyty, laminaty, przecinanie, struna zbrojona trwale

### 1. Wprowadzenie

Obecnie w różnych gałęziach przemysłu wykorzystuje się ponad 50 000 różnych materiałów. Mają one odmienne właściwości oraz zastosowania. Jedną z grup materiałowych, towarzyszącą ludzkości od zarania dziejów, są kompozyty (*compositus* – złożony) [4, 7, 9, 10]. Ta grupa materiałów inżynierskich znajduje obecnie zastosowanie w takich branżach, jak: lotnictwo, motoryzacja, transport wodny, sport, infrastruktura, branża spożywcza oraz wiele innych. Czym są kompozyty? Są to materiały powstałe przez ścisłe zespolenie co najmniej dwóch chemicznie różnorodnych materiałów (faz – zbrojącej i osnowy) w taki sposób, aby mimo wyraźnej granicy rozdziału między nimi nastąpiło dobre i ciągłe połączenie składników oraz możliwie równomierne rozłożenie fazy zbrojącej w osnowie [3, 5, 10, 11]. W skład kompozytu mogą wchodzić dowolne materiały (metale, ceramika, szkło itd.). Dzięki odpowiednim kombinacjom składników kompozytowych otrzymuje się materiał o wymaganych właściwościach i parametrach, które indywidualnie – w przypadku pojedynczego materiału, nie mogłyby zostać osiągnięte. Kompozyty klasyfikuje się między innymi ze względu na rodzaj osnowy [3]:

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Bożena Ciałkowska, Politechnika Wroclawska, ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław, tel.: 713202075, e-mail: bozena.cialkowska@pwr.edu.pl

<sup>2</sup> Magdalena Wiśniewska, Politechnika Wroclawska, e-mail: m.wisniewska@pwr.edu.pl

- metalowa,
- niemetalowa,

lub ze względu na rodzaj fazy zbrojącej:

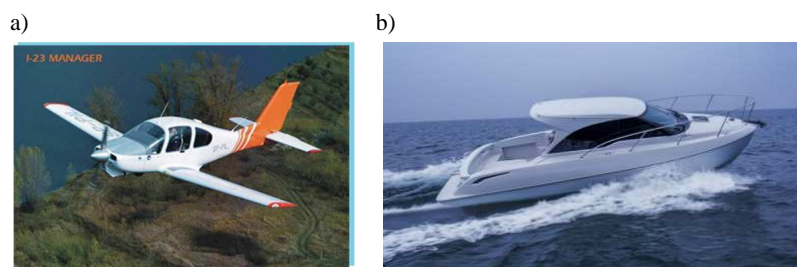
- zbrojenie dyspersyjne,
- zbrojenie cząsteczkowe,
- zbrojenie włóknami: ciągłymi lub krótkimi,

również ze względu na: sposób wytwarzania, przeznaczenie, właściwości technologiczne itp. [9]. Należy również wspomnieć, że można podzielić kompozyty na naturalne (drewno, kości, ścięgna) oraz sztuczne – zaprojektowane i wytworzone przez człowieka.

Ich właściwości wypadkowe zależą od: cech faz składowych, udziału objętościowego faz, sposobu rozmieszczenia fazy rozproszonej w osnowie, cech geometrycznych fazy rozproszonej [4]. Jednym z najczęściej stosowanych kompozytów jest FRP (*Fibre Reinforced Plastics*), czyli kompozyt o osnowie polimerowej wzmocniony napelniancem w formie włókien. Tymi włóknami są: włókna węglowe, szklane, bazaltowe oraz aramidowe. Rzadziej zaś są używane papierowe, drzewne bądź azbestowe. Polimery, które są stosowane w FRP, to zazwyczaj żywice epoksydowe, winyloestrowe lub poliestrowe [6].

Od wielu lat można zaobserwować wzrost zapotrzebowania na różnego rodzaju materiały konstrukcyjne, w tym na materiały kompozytowe. Dzieje się tak za sprawą ich specyficznych właściwości, które można w niemal nieograniczony sposób modyfikować, a są nimi: mała gęstość, dobra wytrzymałość właściwa, odporność antykorozyjna, dobre właściwości ślizgowe, dobra sztywność i wiele innych. Spośród wad należy jednak wymienić niską odporność cieplną, długi czas wytwarzania czy trudności z obróbką. Mimo pewnych ograniczeń zaawansowane kompozyty cieszą się dużą popularnością. Kompozyty konstrukcyjne, np. z polimerów termoutwardzalnych, to laminaty (kompozyty warstwowe) poliestrowe wzmocnione włóknem szklanym, stosowane do budowy m.in. kadłubów łodzi i małych jednostek pływających, małych samolotów, samochodów, cystern, wiatraków (rys. 1).

Laminaty sprawdzają się doskonale również w konstrukcjach wielkogabarytowych, takich jak: zbiorniki, rury, elementy aparatury chemicznej, pokrycia zbiorników oraz kanałów, osłony lub wiaty [5]. Zapewniają nie tylko estetyczny wygląd, ale dzięki dużej wytrzymałości i sztywności przy jednocześnie relatywnie niskiej wadze konstrukcje wykonane z takich materiałów mogą przyjmować niemal dowolną formę, bez problemu podparcia dużych powierzchniowo konstrukcji (rys. 2a). Ze względu na ten fakt coraz chętniej są wykorzystywane w architekturze (rys. 2b). Przykłady można mnożyć, gdyż obszar zastosowań materiałów kompozytowych z roku na rok się powiększa. Na rysunku 3 pokazano obszary zastosowań włókien szklanych na rynku europejskim w 2008 r.



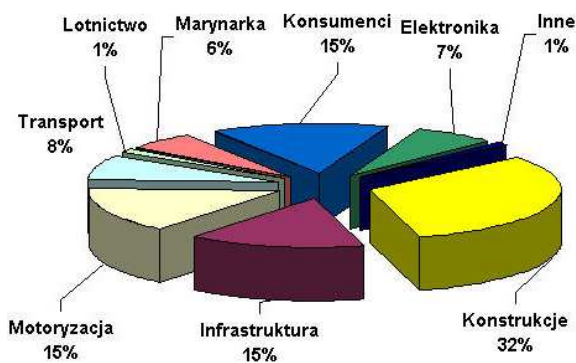
Rys. 1. Przykładowe zastosowania materiałów kompozytowych w przemyśle: a) morskim, b) lotniczym

Fig. 1. Examples of composites applications in: a) shipbuilding industry, b) aircraft industry



Rys. 2. Przykłady zastosowania kompozytów w budownictwie: a) pokrycie samonośne Dn 15 000, konstrukcja bez podparcia w centralnym punkcie zbiornika, b) fasada budynku Western Australian Institute of Sport

Fig. 2. Examples of the use of composites in building engineering: a) self-supporting cover Dn 15 000, structure without racking at central point of tank, b) front of Western Australian Institute of Sport



Rys. 3. Podział na europejskim rynku kompozytów tworzywo-włókno szklane

Fig. 3. The division of the European market of plastic-fibreglass comp

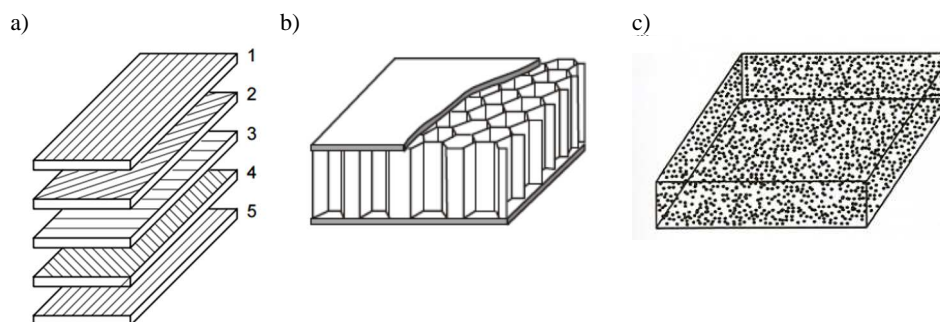
## 2. Obróbka kompozytów

Konieczność obróbki kompozytów wpłynęła na powstanie nowych wyzwań z zakresu technik kształtowania materiałów. Kompozyty stanowią nieoceniony materiał konstrukcyjny, jednak ze względu na swoją budowę można je uznać za materiał trudnoobrabialny. Podczas obróbki kompozytów trzeba zwrócić szczególną uwagę na zaburzenie ciągłości napełniacza, co może pogorszyć właściwości materiału. Pogarszają ją również odsłonięte włókna po procesie obróbkowym, które są podatne na działanie środków chemicznych i wilgoci. Kolejnym z wyzwań jest kontrola temperatury i utrzymywanie jej na odpowiednim poziomie. Temperatura podczas cięcia musi się mieścić w takich zakresach, aby przy materiałach termoutwardzalnych nie przekroczyć temperatury utwardzania żywicy. W przypadku termoplastów, gdy temperatura zbliża się do temperatury topnienia, może dochodzić do zalepiania narzędzi. Przez niską przewodność termiczną kompozytów obserwuje się gromadzenie ciepła w strefie skrawania, która w przypadku narzędzia wynosi 50% całej wytworzonej energii. Reszta z kolei jest pochłaniana przez wióry i materiał. W przypadku metali te temperatury rozkładają się w stosunku: 80% wióry, 10% narzędzie oraz 10% materiał [1, 3]. Osiągnięcie pożądanej dokładności wymiarowej jest często niemożliwe z powodu różnych współczynników rozszerzalności cieplnej dla osnowy i napełniacza. Obróbka często wiąże się z *debondingiem* (utrata spójności pomiędzy poszczególnymi włóknami) oraz *delaminacją* (utrata spójności pomiędzy całymi warstwami laminatu) [2]. Wpływ na nie ma układ i orientacja włókien. Operacja cięcia jest wykorzystywana do uzyskania pożądanych wymiarów lub podzielenia jednego elementu na kilka mniejszych. Powszechnie stosowanymi metodami są: cięcie strumieniem wody oraz wodno-ściernym, laserem, tarczami diamentowymi, piłami taśmowymi [1, 2].

## 3. Materiały wybrane do badań

Do badań wybrano dwie grupy materiałów kompozytowych: kompozyty strukturalne – spośród nich laminaty i kompozyty przekładkowe oraz kompozyty zbrojone cząstkami – polimerowo-drzewne. Laminaty to kompozyty powstające z połączenia dwóch materiałów o różnych właściwościach mechanicznych, fizycznych i technologicznych. Zbrojenie jest tutaj układane warstwami, między którymi znajduje się wypełnienie, pełniące rolę lepiszcza [7]. Warstwy wzmocnienia mogą mieć postać włókien ciągłych ułożonych jednokierunkowo (tzw. rovingu), tkanin lub mat z włókna ciętego. Materiały te, ze względu na swoją strukturę, mają dobrą wytrzymałość w kierunku włókien, natomiast słabą w kierunku prostopadłym do warstw. Kompozyty warstwowe (przekładkowe, kanapkowe) składają się z rdzenia oraz dwóch silniejszych warstw zewnętrznych. Rdzeń charakteryzuje się mniejszą gęstością oraz wytrzymałością w stosunku do warstw wierzchnich. Jego główną rolą jest przeciwdziałanie siłom zewnętrznym,

których kierunek działania jest prostopadły do powierzchni [4, 7]. Materiałem rdzenia są najczęściej: pianka polimerowa, styropian, drewno lub materiały o tzw. strukturze plastra miodu, co ilustruje rys. 4.



Rys. 4. Budowa materiałów wybranych do badań: a) laminaty, b) kompozyty przekładkowe, c) kompozyty polimerowo-drzewne [7]

Fig. 4. Structure of materials chosen for investigations: a) laminates, b) sandwich composites, c) wood-polymer composites [7]

Kompozyty polimerowo-drzewne (WPC – *Wood Polymer Composites*) są grupą materiałów składających się z dwóch odrębnych faz. Jedną z tych faz jest polimer, który wiąże różne składniki i przenosi między nimi obciążenie. Druga faza to drewno, które może mieć dowolny kształt lub rozmiar i działa jako napełniacz. Kompozyty WPC można podzielić na trzy grupy. Pierwszą stanowią kompozyty niskonapełnione, które cechuje stosunkowo niewielki udział (10-40% mas.) cząstek drewna, druga to tzw. wysokonapełnione kompozyty, zawierające 40-80% mas. cząstek drewna, trzecia grupa to „upłynnione drewno”, gdzie udział cząstek drewna sięga aż 90% masy [8]. Osnową kompozytów WPC może być: polietylen, polipropylen lub polichlorek winylu. Gatunkami drzew, z jakich wykonuje się napełniacze drzewne, są w głównej mierze drzewa iglaste (świerk, sosna), rzadziej drzewa liściaste (klon, dąb) [12]. Do badań wybrano dziewięć próbek, które zostały dalej scharakteryzowane.

**Próbka 1.** Pierwszą z próbek był materiał pochodzący od firmy Plastivan o nazwie firmowej DuoFuse. Składa się on z mieszanki mączki drzewnej (~50%) i polichloru winylu PVC (~50%).





**Próbka 2.** Twinson – kompozyt zawierający mączkę drzewną i PVC. Dokładny skład jest zastrzeżony przez firmę (nawet ilość napełniacza i osnowy), lecz porównując właściwości próbki nr 1 oraz właściwości próbki nr 2 (tab. 1) można zauważyć, że ich skład musi być zbliżony.

**Próbka 3.** Jest to kolejna próbka od firmy Plastivan. Ma ona ten sam skład co próbka nr 1, lecz inny kształt i fakturę zewnętrzną.

**Próbka 4.** Kompozyt od firmy Rehau. Składa się z 50% PP oraz 50% mączki drzewnej. Właściwości omawianego kompozytu zostały ujęte w tab. 1.

Tabela 1. Właściwości kompozytów polimerowo-drzewnych wybranych do badań

Table 1. Properties of wood-polymer composites chosen for research

DuoFuse	Twinson	Plastivan	Rehau
			
Gęstość 1,39 g/cm <sup>3</sup> . Temperatura mięknięcia wg Vicata 86,2°C. Twardość 111 HB. Moduł sprężystości 6460 MPa.	Gęstość 1,4 g/cm <sup>3</sup> . Temperatura mięknięcia wg Vicata 85°C. Twardość 100 HB. Moduł sprężystości 5000 MPa.	Gęstość 1,39 g/cm <sup>3</sup> . Temperatura mięknięcia wg Vicata 86,2°C. Twardość 111 HB. Moduł sprężystości 6460 MPa.	Gęstość 1,22 g/cm <sup>3</sup> .

**Próbka 5.** Ten typ kompozytów jest odmienny od wcześniej szerzej omawianych kompozytów polimerowo-drzewnych. Składa się on z pianki oraz zespolonej z nim zarówno z górnej, jak i dolnej strony tkaniny węglowej. Tkanina cechuje się gęstością powierzchniową na poziomie 200 g/m<sup>2</sup> i jest ona przesączona żywicą epoksydową. Pianka użyta w tym kompozycie to Rohacell 71sl. Takie połączenie dwóch materiałów jest nazywane „kanapkowym”. Zapewnia ono sztywność, odporność na zginanie oraz wytrzymałość, przy zachowaniu bardzo niskiej masy (tab. 2). Badane laminaty były różnorodne pod względem zastosowanej osnowy (żywicy) oraz diagramu, czyli sposobu ułożenia mat szklanych. Użyty został welon szklany o gramaturze 30 g/m<sup>2</sup>.

Tabela 2. Właściwości pianki Rohacell 71sl

Table 2. Properties of Rohacell 71sl foam

Gęstość (przy 20°C)	75 kg/m <sup>3</sup>
Moduł sprężystości przy rozciąganiu	120 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie	3,7 MPa
Moduł sprężystości przy ściskaniu	76 MPa
Wytrzymałość na ściskanie	1,5 MPa
Moduł wytrzymałości przy ścinaniu	33 MPa
Wytrzymałość na ścinanie	1,4 MPa

**Próbka 6.** Koloru białego (tab. 3); została w niej zastosowana żywica BÜFA 8175, naprzemiennie użyto maty M450 x 8 szt. oraz STR450 x 7 sztuk.

**Próbka 7.** Koloru zielonego (tab. 3); została w niej zastosowana żywica izoftalowa, naprzemiennie użyto maty M450 x 10 szt. oraz STR450 x 9 sztuk.

**Próbka 8.** Koloru żółtego (tab. 3); została w niej zastosowana żywica Biresin CR83, naprzemiennie użyto maty M450 x 10 szt. oraz STR450 x 9 sztuk.

Tabela 3. Widok ogólny wybranych do badań laminatów

Table 3. General view of laminates selected for investigations

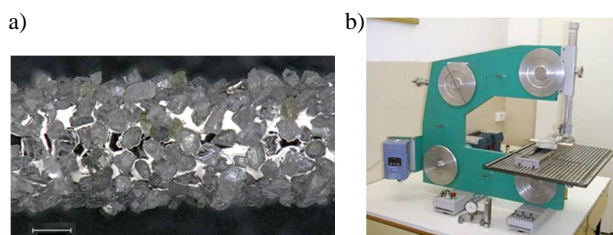
Próbka 6	Próbka 7	Próbka 8
		

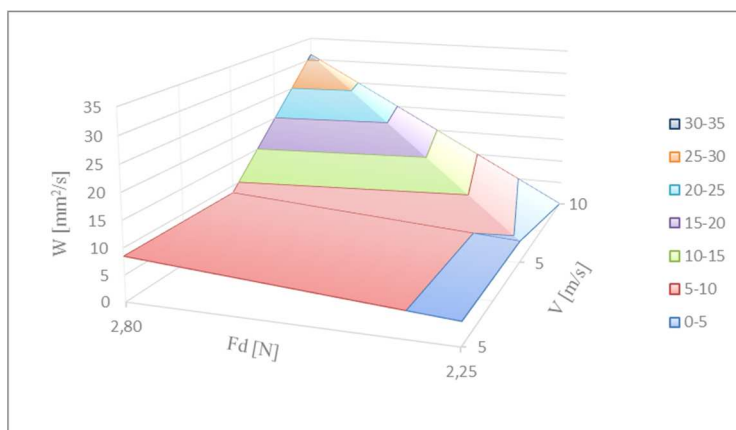
#### 4. Badania procesu przecinania wybranych kompozytów struną zbrojoną trwale

Wiedza z zakresu przecinania strunowego, szczególnie kompozytów, jest wciąż niepełna, dlatego każde z badań może się przysłużyć do rozwoju tej metody i jej upowszechnienia. Przedmiotem badań była zdolność i efektywność struny do przecinania kompozytów, z którymi w przemyśle występują różne problemy w procesach obróbki. Zwracano uwagę na stan powierzchni przedmiotu po cięciu, temperaturę w strefie cięcia oraz stan struny pod kątem zalepiania jej czynnej powierzchni. Do badań została wybrana struna niemieckiej firmy HK, o oznaczeniu SD-0,9-2500-G10-3D126 i średnicy 900  $\mu\text{m}$ . Wielkość ziaren wynosi w przybliżeniu 120/140  $\mu\text{m}$ , średnica rdzenia – 610  $\mu\text{m}$ . Jest to struna w postaci pętli. Jej rdzeń składa się ze stali chromowo-niklowej (15% Cr, 7% Ni). Narzędzie oraz stanowisko badawcze pokazano na rys. 5. Cięcie prowadzono dla dwóch wartości prędkości:  $v_c = 5$  i 10 m/s oraz dwóch wartości siły docisku materiału do struny:  $F_d = 2,25; 2,8$  N. Siła naciągu struny była stała, równa 145 N. Długość odcinka ciętego wynosiła 10 mm. Wszystkie materiały wybrane do badań dobrze poddawały się cięciu narzędziem strunowym. Najlepiej pod względem możliwości i wydajności przecinania wypadł kompozyt z włókna węglowego – właściwie nie stawiał on oporu podczas przecinania przy dowolnie dobranych parametrach. W przypadku pozostałych kompozytów największe możliwości zwiększania wydajności przecinania dał materiał 3, co pokazano na wykresie (rys. 6).

Rys. 5. Narzędzie strunowe wybrane do badań (a) oraz stanowisko badawcze (b)

Fig. 5. Diamond abrasive wire saw (a) selected for research and test stand (b)





Rys. 6. Wpływ prędkości skrawania  $v_c$  i siły docisku materiału do struny  $F_d$  na wydajność przecinania  $W$  dla materiału nr 3

Fig. 6. Influence of cutting speed  $v_c$  and material pressure force  $F_d$  on effectiveness of cutting  $W$  for material no. 3

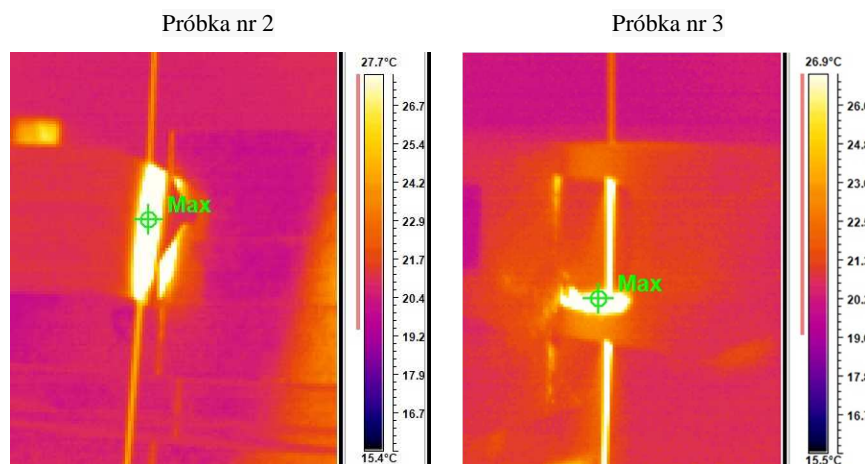
Pomiary temperatury prowadzono za pomocą kamery termowizyjnej MobIR M3, dla której zakres temperatur wynosi od 20 do 250°C, z dokładnością do 2°C. Temperatury uzyskane podczas przecinania mieściły się w bezpiecznym zakresie, poniżej temperatury mięknięcia kompozytów. Nie zagrażają tym samym laminatom oraz kompozytom „kanapkowym”. Zaobserwowano również obniżenie temperatury od 10 do 50%, w przypadku zmiany prędkości z 5 na 10 m/s. Należy mieć na uwadze korelacje między wysokością materiału obrabianego, jego gęstością, czasem pracy struny a wzrostem temperatur. Ciekawa pod względem rozkładu temperatur okazała się próbka nr 3 (rys. 7), ze względu na nietypowy kształt przekroju, natomiast najwyższą temperaturę uzyskano dla próbki nr 2, czyli jednego z kompozytów polimerowo-drzewnych (tab. 4).

Tabela 4. Maksymalne temperatury w strefie przecinania wybranych kompozytów

Table 4. Maximal temperatures in the cutting zone for chosen composites

Próbka	Temperatura max [°C]
1	33,5
2	67,1
3	57,3
4	63,9
5	43,2
6	47,6
7	41,2
8	53,1





Rys. 7. Rozkład temperatur z strefie cięcia

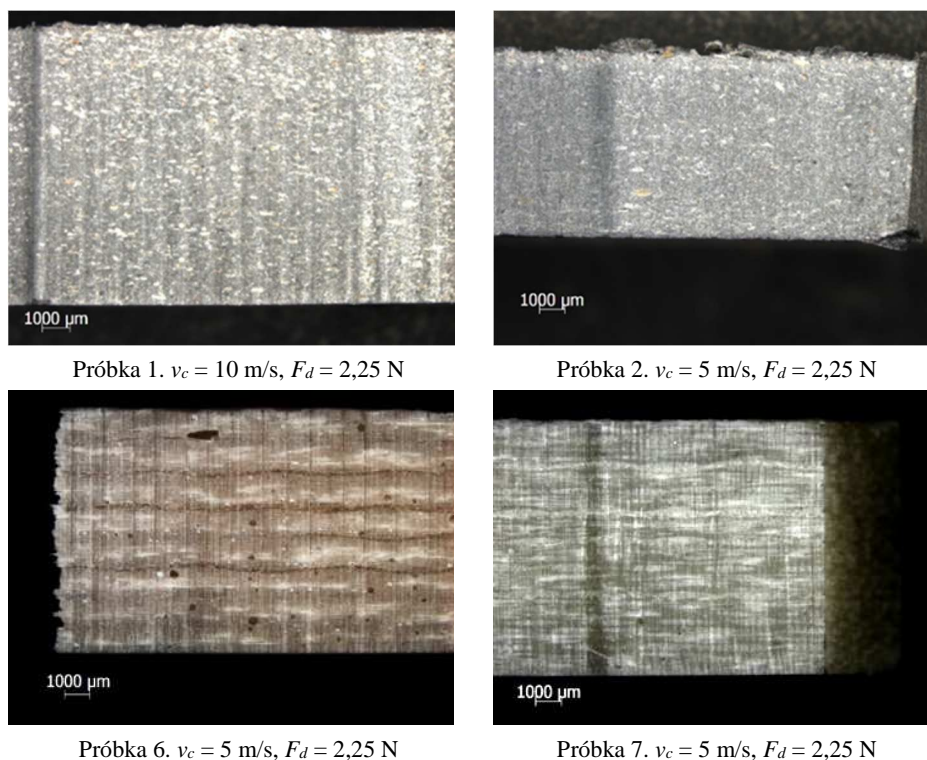
Fig. 7. Temperature distribution in the cutting zone

Pomiary jakości powierzchni po cięciu struną były realizowane tylko dla laminatów i w ograniczonym zakresie parametrów przecinania (tab. 5), na profilografometrze Taylor Hobson Talysurf 120 L. Dla pozostałych kompozytów oceny dokonano na podstawie obserwacji mikroskopowych powierzchni. Przykładowe zdjęcia niektórych uzyskanych po cięciu powierzchni przedstawiono na rys. 8. Podczas badań struna była właściwie po każdej próbie oczyszczana sprężonym powietrzem, ze względu na intensywne zalepanie przez niektóre materiały przestrzeni międzyziarnowych. Taka sytuacja może doprowadzić do spadku wydajności oraz, co bardziej problematyczne, wzrostu temperatury w strefie cięcia. Szczególnie intensywne zalepanie było obserwowane dla laminatów i kompozytu z włóknem węglowym.

Tabela 5. Jakość powierzchni laminatów po cięciu strunowym

Table 5. Quality of laminates surface after abrasive wire cutting

Laminaty	$v_c$ [m/s]	$F_d$ [N]	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]
Próbka 6	5	225	2,77	15,10
	5	280	2,64	19,90
	10	280	2,44	15,07
Próbka 7	5	225	3,21	18,12
	5	280	2,91	18,61
	10	280	3,09	18,61
Próbka 8	5	225	2,66	15,30
	5	280	8,49	44,09
	10	280	4,47	32,07



Rys. 8. Obrazy mikroskopowe powierzchni wybranych kompozytów po cięciu struną

Fig. 8. Microscopic images of selected composite surfaces after wire cutting

## 5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że cięcie struną w odpowiednich warunkach i przy odpowiednich parametrach może być wykorzystywane podczas produkcji omawianych kompozytów. Najłatwiej obróbce poddawał się kompozyt przekładkowy i to przy najniższych parametrach procesu. Cięcie było wykonywane z bardzo dużą wydajnością i wysoką jakością. Temperatury oscylowały w bezpiecznej granicy dla tego materiału, natomiast struna nie wymagała czyszczenia. Następne dwie grupy, czyli laminaty, jak również kompozyty polimerowo-drzewne, wykazywały podobną wydajność przy określonych parametrach. Była ona jednak zależna od indywidualnego składu chemicznego. Spośród laminatów najlepszą wydajność przecinania uzyskano dla próbki nr 6, co może być konsekwencją zastosowanej żywicy oraz liczby mat. Temperatury nie zagrażały żadnemu z laminatów, lecz mogłyby być wyższe przy większej wysokości materiału i przy dłuższym czasie cięcia. Z tego względu zalecane jest

rozważenie chłodziwa w celu zachowania bezpiecznej temperatury cięcia i poprawy samoostrożenia struny z uwagi na zalepianie przestrzeni między ziarnami diamentowymi.

Kompozyty WPC cechowały się dobrą wydajnością, lecz jedynie przy niższych wysokościach próbek. Wraz ze wzrostem wysokości materiału i ilości materiału, jaki struna musi obrobić, wydajność malała. Temperatury w strefie cięcia oraz stan struny po cięciu były zależne od składu chemicznego kompozytu. Podobnie jak w przypadku laminatów warto byłoby rozważyć chłodzenie dla stabilności temperatury i stanu struny. Niemniej jednak należy zbadać reakcje kompozytów WPC na chłodziwo, ponieważ może mieć ono szkodliwy wpływ na napełniacz naturalny występujący w tym kompozycie.

## Literatura

- [1] Andrzejewski P.: Problematyka przecinania wybranych materiałów kompozytowych struną zbrojoną trwale, Politechnika Wroclawska, Wroclaw 2016.
- [2] Bełzowski A., Stasiński J., Ziółkowski B., Kamińska A.: Niektóre kryteria akceptacji defektów w kompozytach na przykładzie laminatu ciętego strumieniem wody, *Kompozyty*, 4 (2004) 389-395.
- [3] Bieniaś J.: Struktura i właściwości materiałów kompozytowych, Politechnika Lubelska, Lublin 2002.
- [4] German J.: Materiały kompozytowe – własności, zastosowania, perspektywy, Politechnika Krakowska, Kraków 2005.
- [5] Izbička J., Michalski J.: Kompozyty, laminaty, tworzywa stosowane w technice, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, 228 (2006) 342-348.
- [6] Jamal A.: *Machining of polymer composites*, Springer 2009.
- [7] Rajczyk M., Stachecki B.: Współczesne materiały kompozytowe – wybrane kierunki rozwoju nowych technologii. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011.
- [8] Zajchowski S., Ryszkowska J.: Kompozyty polimerowo-drzewne – charakterystyka ogólna oraz ich otrzymywanie z materiałów odpadowych, *Polimery*, 54 (2009) 674-682.
- [9] Zubel I.: *Kompozyty*, Materiały Politechniki Wroclawskiej, Wroclaw 2010.
- [10] [http://www.mif.pg.gda.pl/homepages/maria/pdf/INM\\_07\\_11.pdf](http://www.mif.pg.gda.pl/homepages/maria/pdf/INM_07_11.pdf) (dostęp: 10.06.2017 r.).
- [11] [http://www.baltazarkompozyty.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=222:kompozyty-wokol-nas&catid=15&Itemid=46](http://www.baltazarkompozyty.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=222:kompozyty-wokol-nas&catid=15&Itemid=46) (dostęp: 10.06.2017 r.).
- [12] <http://compositesmanufacturingmagazine.com/2016/03/toyota-unveils-new-boat-made-with-composites/> (dostęp: 10.06.2017 r.).

## **PROBLEMS OF ABRASIVE DIAMOND WIRE SAW CUTTING OF SELECTED COMPOSITE MATERIALS**

### **S u m m a r y**

In these article modern composite materials, their division, construction and area of application were described. The possibilities and problems of machining the composite materials with particular emphasis on abrasive methods were described. Effects that can be obtained in diamond wire cutting of selected composites were introduced. Furthermore, temperature aspect in the cutting zone was presented.

**Keywords:** composites, laminates, cutting, abrasive diamond wire

DOI: 10.7862/rm.2017.42

*Przesłano do redakcji: 24.07.2017*

*Przyjęto do druku: 18.10.2017*