

# Delaminacja materiału kompozytowego włóknistego podczas wykonywania otworów

## Composite material delamination during drilling

TADEUSZ LEPPERT  
TOMASZ PACZKOWSKI  
ROBERT POLASIK  
DAWID SERWACKI \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.392

W artykule zaprezentowano wyniki badań, wraz z ich analizą, wpływu warunków wiercenia w materiale kompozytowym włóknistym, stosowanym do budowy czołownic pojazdów szynowych, na wartość współczynnika delaminacji.

**SŁOWA KLUCZOWE:** delaminacja kompozytów, materiały kompozytowe włókniste, wiercenie w kompozytach

*The original research results and their analysis of delamination phenomena during drilling in fiber composite material, used to build headstocks rail vehicles were presented and discussed in this article.*

**KEYWORDS:** composite material, delamination, fiber-based composite materials, composite material drilling

Materiały kompozytowe są alternatywą dla konwencjonalnych materiałów konstrukcyjnych. Ich właściwości oraz techniki stosowane do ich wytwarzania powodują, że są one coraz częściej stosowane w budowie maszyn i urządzeń. Początki powszechnego stosowania materiałów kompozytowych w przemyśle lotniczym datuje się na lata 50. ubiegłego stulecia, a w pozostałych gałęziach przemysłu – na lata 60. XX w. Współcześnie udział elementów wykonanych w materiałach kompozytowych znacząco wzrósł. Dla porównania: w modelu samolotu Boeing 707 kompozyty stanowiły 2% całkowitej masy własnej; w obecnie produkowanym Boeingu 787 Dreamliner części wykonane z kompozytów stanowią 50% całkowitej masy własnej. Model Airbus A380 jest ponadto pierwszym, w którym zastosowano CFRP (Carbon-Fiber-Reinforced Polymer – kompozyty zbrojone włóknem węglowym) do budowy skrzydła centralnego [1, 2, 5]. Powszechnie elementy maszyn wykonane z materiałów kompozytowych łączy się z elementami wykonanymi z innych materiałów za pomocą połączeń rozłącznych i nierozłącznych (np. nity, śruby). W tym celu należy w uprzednio wykonanym materiale kompozytowym zrobić otwory. Często stosowaną techniką jest wiercenie. Niewłaściwe prowadzenie operacji wiercenia, niepoprawne warunki, zużyte narzędzie i inne czynniki prowadzą do występowania uszkodzeń. Jednym z nich jest rozwarstwienie, nazywane delaminacją, które może skutkować znacznym osłabieniem połączenia.

### Delaminacja kompozytowych materiałów włóknistych

Anizotropowa struktura budowy materiałów kompozytowych włóknistych jest jednym z czynników, który w istotny

sposób pozytywnie wpływa na ich właściwości wytrzymałościowe. Jednocześnie jednak stanowi czynnik utrudniający obróbkę skrawaniem takich materiałów ze względu na:

- rozwarstwienie (delaminację),
- dezintegrację osnowy wskutek oddziaływania ciepła,
- przerywanie/strzępianie włókien,
- narażenie włókien na oddziaływanie czynników zewnętrznych,
- trudności z uzyskiwaniem powtarzalnych wymiarów oraz jakości powierzchni obrobionej,
- przyspieszone (ścierne) zużycie narzędzi skrawających.

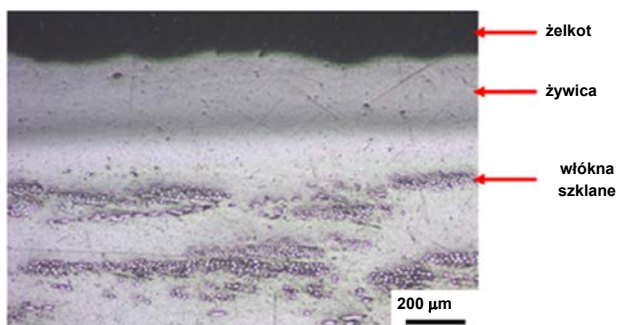
Delaminacja, czyli rozwarstwienie materiału, jest zjawiskiem powszechnie występującym podczas obróbki skrawaniem kompozytów. Polega ona na utracie spójności poszczególnych warstw kompozycji (np. laminatu). Przyczyną są występujące w czasie obróbki siły skrawania czy oddziaływanie innych sił zewnętrznych. Nawet nieznaczne stopień krawędzi skrawających skutkuje powiększeniem obszaru delaminacji [3, 4]. Podczas wiercenia zjawisko to występuje na etapie zagłębiania się narzędzia lub w trakcie jego wychodzenia z materiału obrabianego. W pierwszym przypadku jest to skutek zawijania włókien wokół wiertła zanim materiał zostanie zeskrawany. W drugim – obciążenia powstałe wskutek oddziaływania wiertła przekraczają granicę spójności (sił wiązania) warstw kompozytu, w efekcie czego warstwa bądź warstwy są wypychane i oddzielane od pozostałych.

### Metodyka i technika badań delaminacji kompozytowych materiałów włóknistych

Eksperyment wykonano w Zakładzie Inżynierii Produkcji UTP w Bydgoszczy. Materiałem badanym była próbka wykonana z materiałów i według technologii stosowanych do produkcji czołownic pojazdów szynowych. Był to kompozyt polimerowy na bazie żywicy epoksydowej, wzmacniany włóknami szklanymi, z warstwą zewnętrzną wykonaną z żelkotu. Rodzaj włókien, zastosowana żywica i technika wykonania laminatu pozostają tajemnicą przedsiębiorstwa. Wykonano badanie struktury obrabianego materiału z zastosowaniem mikroskopu Nikon MA100 (rys. 1). Otwory wykonywano wiertłami z HSS (DIN 338N, NWKa, PN2913) oraz z węglików spiekanych (Gühring 5514, DIN 6537K R-RT1) o średnicy 8 mm, na wiertarce współrzędnościowej T4163C. Wykonano 3 powtórzenia, w każdej serii stosując nowe narzędzia.

Zastosowano plan statyczny, zdeterminowany kompletny (dla każdego narzędzia). Zmiennymi były: prędkość skrawania; 25, 40, 50 m/min oraz posuw: 0,05; 0,11; 0,16 mm/obr. Wartości parametrów posuwu w odniesieniu do nastaw (podanych w nawiasach) zestawiono w tabl. 1.

\* Dr hab. inż. Tadeusz Leppert (tleppert@utp.edu.pl), dr hab inż. Tomasz Paczkowski (tompacz@utp.edu.pl), dr inż. Robert Polasik (robpol@utp.edu.pl), mgr inż. Dawid Serwacki (dawid.serwacki@gmail.com) – Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy



Rys. 1. Struktura kompozytu użytego w badaniach

TABLICA I. Warunki obróbki

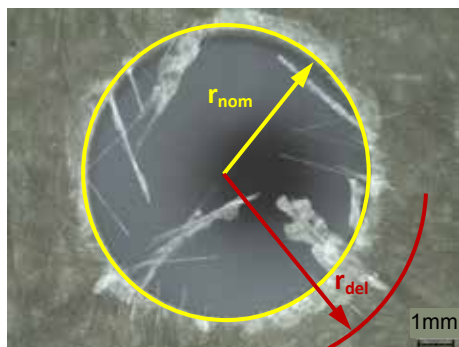
	$V_f$ mm/obr	$V_c$ , m/min (dla obr/min)			Posuw, mm/min		
		25 (1000)	40 (1500)	50 (2000)	50	75	100
I	0,05	25 (1000)	40 (1500)	50 (2000)	50	75	100
II	0,11	25 (1000)	40 (1500)	50 (2000)	110	165	220
III	0,16	25 (1000)	40 (1500)	50 (2000)	160	240	320

### Wyniki badań

Wyniki badań wpływu zastosowanych warunków obróbki na delaminację materiału kompozytowego podczas wiercenia przedstawiono dla jednej serii w formie tablic (tabl. II oraz III). Stroną wejściową (początku obróbki) była warstwa żelkotu. Określano wartości współczynnika delaminacji  $W_D$  (rys. 2) po stronie „wyjścia” narzędzia z materiału obrabianego, zgodnie z zależnością:

$$W_D = \frac{r_{del}}{r_{nom}}$$

gdzie:  $r_{del}$  – promień okręgu opisanego na obszarze występowania defektów (kolor czerwony),  $r_{nom}$  – promień nominalny otworu (kolor żółty).

Rys. 2. Schemat określania wartości współczynnika delaminacji  $W_D$ 

W wyniku analizy otrzymanych wartości współczynnika delaminacji dla poszczególnych wartości zmiennych, prędkości skrawania i posuwu nie stwierdzono istotnych korelacji pomiędzy warunkami obróbki, a uzyskanymi wartościami współczynnika  $W_D$ . Prawdopodobnie jest to związane ze stochastycznym charakterem rozmieszczenia włókien oraz stosowaniem narzędzi o nieużytych krawędziach skrawających w całym eksperymencie. W wielu przypadkach obserwowano pojedyncze wyrwane z osnowy włókna, które wpływały na wartości  $W_D$ . Pierwsze symptomy zużycia narzędzi z HSS zaobserwowano na krawędziach skrawających wiertel węglkowych – na ścinie. Zaobserwowano znaczną liczbę nieprzeciętych włókien po obróbce wiertłem z HSS. Obserwacje oraz fotografie (tabl. II) powierzchni materiału prowadzono z zastosowaniem mikroskopu Nikon SMZ800.

TABLICA II. Delaminacja otworów wykonanych wiertłem z HSS

Posuw mm/obr	Prędkość skrawania $V_c$ , m/min (dla obr/min)		
	25 (1000)	40 (1500)	50 (2000)
0,05			
0,11			
0,16			

TABLICA III. Delaminacja otworów wykonanych wiertłem z węglków spiekanych

Posuw mm/obr	Prędkość skrawania $V_c$ , m/min (dla obr/min)		
	25 (1000)	40 (1500)	50 (2000)
0,05			
0,11			
0,16			

### Podsumowanie

Podczas wykonywania eksperymentu każdorazowo zaobserwowano występowanie uszkodzeń w postaci delaminacji w obszarze „wyjścia” wiertel z materiału kompozytowego. Nie stwierdzono istotnych zależności pomiędzy warunkami obróbki a wartościami współczynnika delaminacji, co mogło być związane ze stosowaniem narzędzi o nieużytych krawędziach skrawających. Obserwacje wskazują, iż po obróbce wiertłem HSS wystąpiło znacznie więcej włókien nieprzeciętych. Wykazano niedoskonałość współczynnika  $W_D$  do określania uszkodzeń kompozytu po wierceniu. Wydaje się, że trafniejszym wskaźnikiem może być, na przykład, udział powierzchni warstw nieprzeciętych bądź obszarów uszkodzeń w odniesieniu do pola powierzchni otworu. Taki wskaźnik wymaga jednak zastosowania zaawansowanych narzędzi analizy obrazu i jest trudny do stosowania w praktyce warsztatowej.

### LITERATURA

- Mrazova M. „Advanced composite materials of the future in aerospace industry”. *Incas Bulletin*. Nr 3 (2013): s. 139÷150.
- Nicolas L. „Composite Materials – A vision for a future”. Springer, Londyn 2011: pp. 13.
- Wern C., Ramulu M., Shukla A. „Investigation of stresses in the orthogonal cutting of fibre reinforced plastics”. *Experimental Mechanics*. Iss. 36 (1996): pp. 33÷41.
- Wilczyński A.P. „Polimerowe kompozyty włókniste”. Wydawnictwa Naukowo Techniczne. Warszawa 1996: s. 16÷17.
- <http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a350xwbfamily/technology-and-innovation/> (dostęp: 12.02.2016).