

The influence of milling parameters on the surface roughness of glass and carbon fiber reinforced plastics

Wpływ parametrów frezowania na chropowatość powierzchni kompozytów polimerowych z włóknami szklanymi i węglowymi

KRZYSZTOF CIECIELĄG
KAZIMIERZ ZALESKI
KRZYSZTOF KĘCIK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.10.84>

In this paper, the impact of milling process parameters on the roughness of surface of glass and carbon fiber reinforced plastics was analyzed. The influence of feed per tooth, cutting speed and depth of cut on selected surface roughness parameters was determined. It was found that the surface roughness after milling carbon fiber reinforced plastics was greater compared to the surface of glass fiber reinforced plastics.

KEYWORDS: polymer composites, milling, surface roughness

Przeanalizowano wpływ parametrów technologicznych frezowania na chropowatość powierzchni kompozytów polimerowych z włóknami szklanymi i węglowymi. Określono wpływ posuwu na ostrze, prędkości skrawania i głębokości skrawania na wybrane parametry chropowatości powierzchni. Stwierdzono, że po frezowaniu chropowatość powierzchni kompozytów polimerowych z włóknami węglowymi była większa niż powierzchni kompozytów z włóknami szklanymi.

SŁOWA KLUCZOWE: kompozyty polimerowe, frezowanie, chropowatość powierzchni

Chropowatość należy do głównych czynników określających strukturę geometryczną powierzchni. Spośród wielu parametrów chropowatości w monitorowaniu procesów powszechnie stosuje się parametr R_a oraz parametr R_z (największą wysokość profilu chropowatości) [1]. Ponadto wykorzystano parametr R_{sk} , związany ze zużyciem powierzchni i tarcie [2]. Na podstawie wartości parametru R_{ku} można natomiast wnioskować o występowaniu wad powierzchniowych.

Kompozyty polimerowe frezuje się w ramach obróbki wykończeniowej, w celu usunięcia nadmiaru powstałego na etapie wytwarzania [9]. Przy doborze parametrów frezowania należy uwzględnić strukturę materiału, orientację i rodzaj włókien oraz oczekiwaną chropowatość powierzchni.

Prace badawcze związane z obróbką kompozytów polimerowych z włóknami szklanymi skupiają się na analizie prędkości skrawania w zakresie: $60\div 250$ m/min [5, 10], posuwu: $0,01\div 0,2$ mm/ostrze [5] i głębokości skrawania: $0,4\div 2$ mm [3, 10]. W przypadku obróbki kompozytów z włóknami węglowymi stosowane są prędkości skrawania: $20\div 250$ m/min [4–6, 8], posuw: $0,01\div 0,5$ mm/ostrze [5–7, 10] oraz głębokość skrawania: $0,1\div 4$ mm [6–8, 10].

Dotychczasowe prace nad frezowaniem kompozytów polimerowych wykazały, że parametry skrawania mają wpływ na chropowatość powierzchni w kompozytach z włóknami węglowymi [3]. Różnorodność wyników oraz zmiennych wpływających na jakość obróbki wymusza potrzebę badania procesów i wskaźników skrawalności.

Celem badań było określenie wpływu prędkości, posuwu i głębokości skrawania podczas frezowania kompozytów polimerowych z włóknami szklanymi i węglowymi na chropowatość powierzchni.

Metodyka badań

Przedmiotem badań były kompozyty polimerowe z włóknami szklanymi GFRP (rys. 1a) oraz węglowymi CFRP (rys. 1b) przesyconymi żywicą epoksydową, w postaci płyt o wymiarach 300 mm \times 300 mm \times 15 mm, wykonanych z 50 warstw prepregów o naprzemiennym ułożeniu włókien.

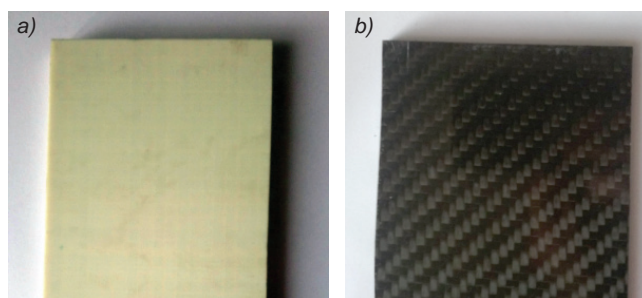


Fig. 1. Processed materials: a) plate with glass fibers, b) plate with carbon fibers

Rys. 1. Materiały obrabiane: a) płyta z włóknami szklanymi, b) płyta z włóknami węglowymi

Proces obróbki frezowaniem przeprowadzono na pionowym centrum obróbkowym z użyciem frezów składanych o średnicy $\varnothing 20$ mm, z wymiennymi płytkami powlekanymi PCD przeznaczonymi do obróbki materiałów kompozytowych, o promieniu zaokrąglenia naroża $0,4$ mm i kącie przyłożenia 15° . W tablicy przedstawiono parametry frezowania przyjęte w badaniach.

* Dr inż. Krzysztof Ciecieląg, k.ciecielag@pollub.pl, <https://orcid.org/0000-0003-1336-0438> – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, Lublin, Polska
Dr hab. inż. Kazimierz Zaleski, prof. PL, k.zaleski@pollub.pl, <https://orcid.org/0000-0002-3757-3676> – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, Lublin, Polska
Dr hab. inż. Krzysztof Kęciak, prof. PL, k.kecik@pollub.pl, <https://orcid.org/0000-0001-8293-6977> – Katedra Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, Lublin, Polska

TABLE. Milling parameters of polymer composites

TABLICA. Parametry frezowania kompozytów polimerowych

	v_c [m/min]	f_z [mm/ostrze]	a_p [mm]
1	50	0,2	1
2	100	0,2	1
3	250	0,2	1
4	350	0,2	1
5	500	0,2	1
6	250	0,04	1
7	250	0,1	1
8	250	0,4	1
9	250	0,6	1
10	250	0,2	0,5
11	250	0,2	1,5
12	250	0,2	2
13	250	0,2	2,5

Ośmiokrotnie zmierzono każdy z badanych parametrów chropowatości w różnych miejscach na powierzchni materiałów. Odrzucono najmniejszą i największą zmierzoną wartość, a następnie obliczono wartości średnie i odchylenia standardowe.

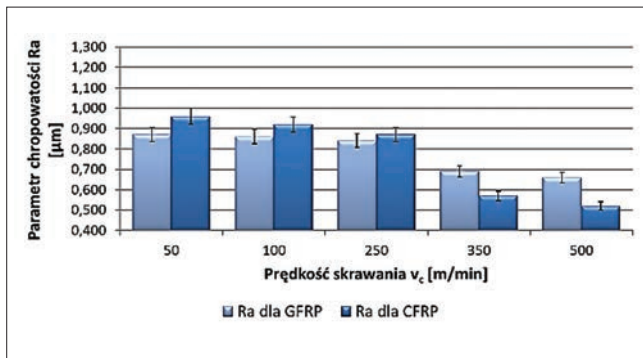


Fig. 2. Relationship between cutting speed and Ra parameter
Rys. 2. Zależność pomiędzy prędkością skrawania a parametrem Ra

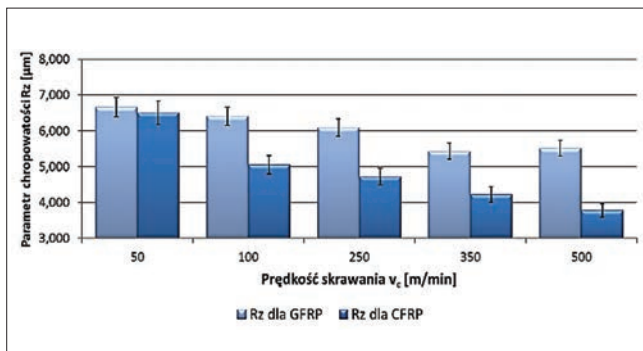


Fig. 3. Relationship between cutting speed and the Rz parameter
Rys. 3. Zależność pomiędzy prędkością skrawania a parametrem Rz

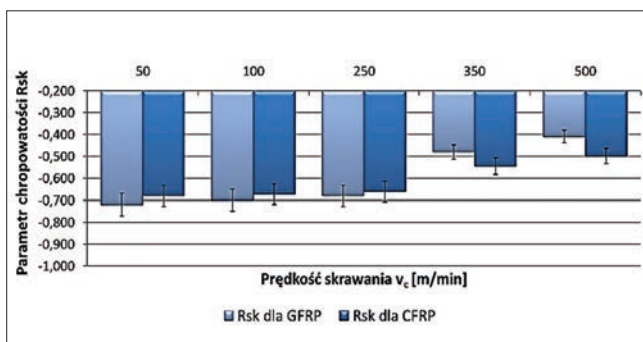


Fig. 4. Relationship between cutting speed and the Rsk parameter
Rys. 4. Zależność pomiędzy prędkością skrawania a parametrem Rsk

Wyniki badań

Na podstawie wyznaczonych wartości średnich wykonano wykresy zależności pomiędzy parametrami frezowania a wartościami parametrów chropowatości. Na rys. 2–5 pokazano wpływ prędkości skrawania na parametry chropowatości: Ra , Rz , Rsk i Rku .

Ze wzrostem prędkości skrawania w zakresie od 50 m/min do 500 m/min wartość parametru chropowatości Ra zmniejszyła się o 23% dla GFRP i o 46% dla CFRP (rys. 2), wartość parametru chropowatości Rz zmalała o 15% dla GFRP i o 42% dla CFRP (rys. 3) oraz nastąpił wzrost parametru Rsk o 44% dla GFRP i o 28% dla CFRP (rys. 4). Największą wartość parametru Rku otrzymano dla prędkości skrawania 100÷250 m/min (rys. 5).

Na rys. 6–9 pokazano wpływ posuwu na ostrze na parametry chropowatości: Ra , Rz , Rsk i Rku . Ze wzrostem posuwu nastąpił wzrost parametru Ra o 46% dla GFRP i o 84% dla CFRP (rys. 6), parametru Rz o 15% dla GFRP i o 70% dla CFRP (rys. 7), a także parametru Rku o 23% dla GFRP i o 72% dla CFRP (rys. 9). Parametr Rsk zmniejszył się o 25% dla GFRP i o 88% dla CFRP (rys. 8).

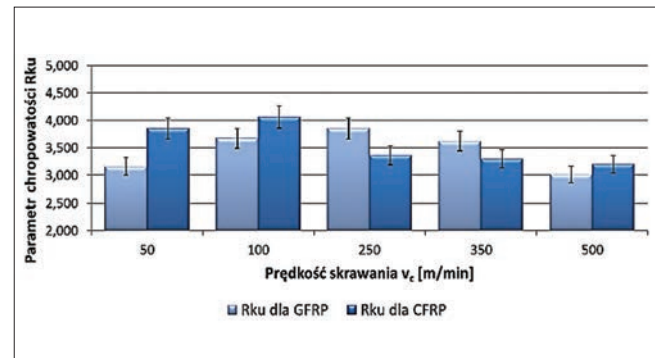


Fig. 5. Relationship between cutting speed and the Rku parameter
Rys. 5. Zależność pomiędzy prędkością skrawania a parametrem Rku

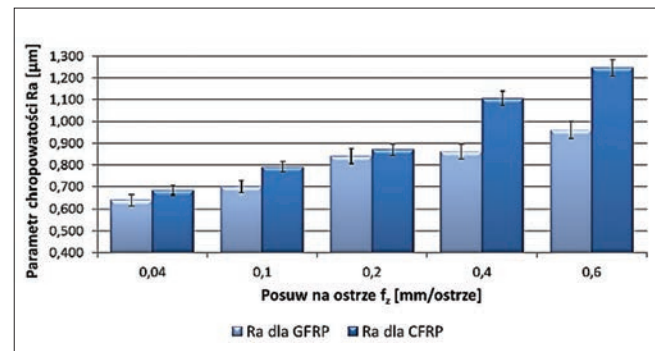


Fig. 6. Relationship between feed per tooth and Ra parameter
Rys. 6. Zależność pomiędzy posuwem na ostrze a parametrem Ra

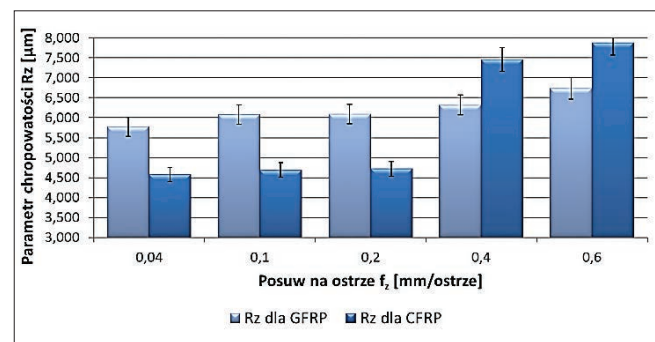


Fig. 7. Relationship between feed per tooth and the Rz parameter
Rys. 7. Zależność pomiędzy posuwem na ostrze a parametrem Rz

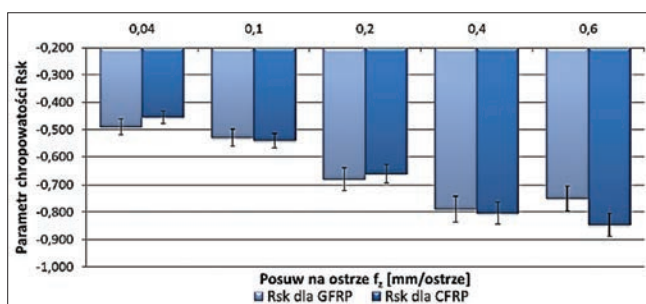


Fig. 8. Relationship between feed per tooth and Rsk parameter
Rys. 8. Zależność pomiędzy posuwem na ostrze a parametrem Rsk

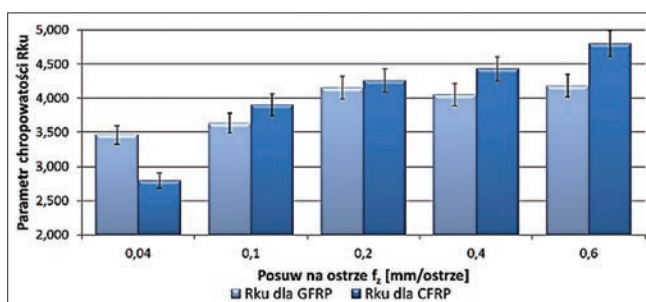


Fig. 9. Relationship between feed per tooth and the Rku parameter
Rys. 9. Zależność pomiędzy posuwem na ostrze a parametrem Rku

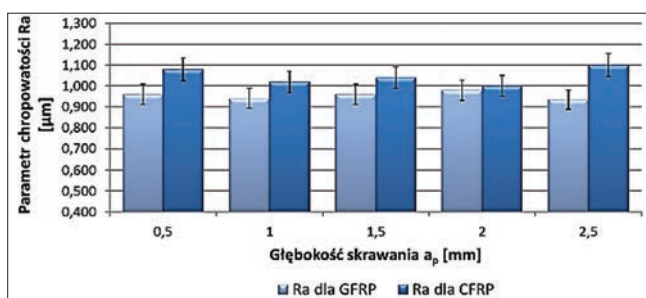


Fig. 10. Relationship between cutting depth and Ra parameter
Rys. 10. Zależność pomiędzy głębokością skrawania a parametrem Ra

Na rys. 10–13 pokazano wpływ głębokości skrawania na parametry chropowatości: Ra , Rz , Rsk i Rku . Nie odnotowano znaczących zmian w wartościach parametrów chropowatości wraz ze wzrostem głębokości skrawania.

Podsumowanie

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że:

- wzrost prędkości skrawania powoduje spadek wartości parametrów chropowatości Ra , Rz , Rku oraz wzrost parametru Rsk , co świadczy o lepszej jakości powierzchni po obróbce z większą prędkością skrawania;
- wzrost posuwu na ostrze wpływa na wzrost parametrów chropowatości Ra , Rz i Rku oraz spadek parametru Rsk ;
- zmiana głębokości skrawania nie wpływa znacząco na zmianę parametrów chropowatości powierzchni;
- ze względu na możliwość występowania wad powierzchniowych należy stosować małe lub duże prędkości skrawania (najmniejszy parametr Rku);
- znaczący wzrost parametru Rku w miarę zwiększania posuwu świadczy o większym prawdopodobieństwie wystąpienia wad powierzchniowych po frezowaniu z dużym posuwem;
- materiał CFRP jest bardziej podatny na zmiany chropowatości powierzchni spowodowane wzrostem posuwu i prędkości skrawania w porównaniu z kompozytem GFRP.

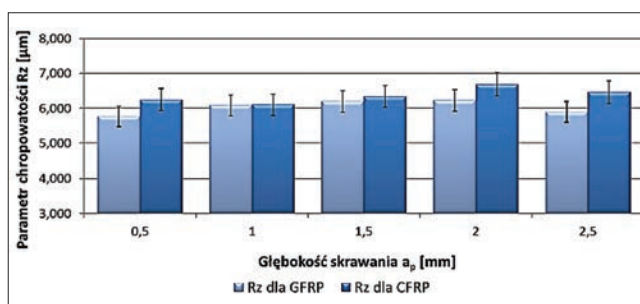


Fig. 11. Relationship between cutting depth and the Rz parameter
Rys. 11. Zależność pomiędzy głębokością skrawania a parametrem Rz

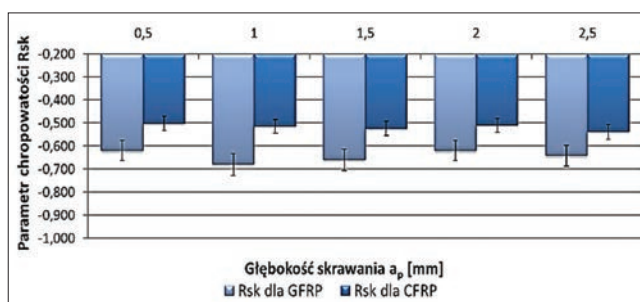


Fig. 12. Relationship between cutting depth and Rsk parameter
Rys. 12. Zależność pomiędzy głębokością skrawania a parametrem Rsk

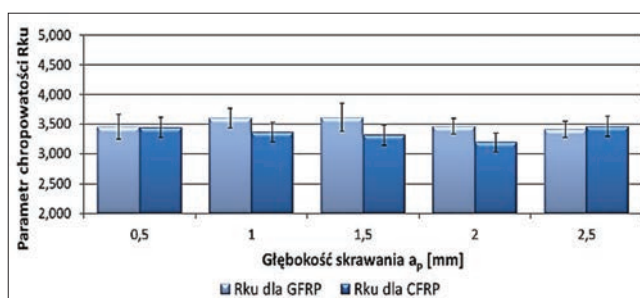


Fig. 13. Relationship between cutting depth and the Rku parameter
Rys. 13. Zależność pomiędzy głębokością skrawania a parametrem Rku

LITERATURA

- [1] Wieczorowski M., Cellary A., Chajda J. „Przewodnik po pomiarach nierówności powierzchni czyli o chropowatości i nie tylko”. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2003.
- [2] Grzesik W. „Wpływ topografii powierzchni na właściwości eksploatacyjne części maszyn”. *Mechanik*. 8–9 (2015): 587–592, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2015.8-9.493>.
- [3] Azmi A.I., Lin R.J.T., Bhattacharyya D. “Machinability study of glass fibre reinforced polymer composites during end milling”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 64 (2013): 247–261, <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4006-6>.
- [4] Davim J.P., Reis P. “Damage and dimensional precision on milling carbon fiber-reinforced plastics using design experiments”. *Journal of Materials Processing Technology*, 160 (2005): 160–167, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.06.003>.
- [5] Ghidossi P., El Mansori M., Pierron F. “Edge machining effects on the failure of polymer matrix composite coupons”. *Composites: Part A*. 35 (2004): 989–999, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.01.015>.
- [6] Hosokawa A., Hirose N., Ueda T., Furumoto T. “High quality machining of CFRP with high helix end mill”. *CIRP Annals, Manufacturing Technology*. 63 (2014): 89–92, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.03.084>.
- [7] Karpat Y., Bahtiyar O., Deger B. “Mechanistic force modeling for milling of unidirectional carbon fiber reinforced polymer laminates”. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 56 (2012): 79–93, <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2012.01.001>.
- [8] Pecat O., Rentsch R., Brinksmeier E. “Influence of milling process parameters on the surface integrity of CFRP”. *Procedia CIRP*. 1 (2012): 466–470, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.04.083>.
- [9] Puw H.Y., Hocheng H. “Machinability test of carbon fiber reinforced plastics in milling”. *Materials and Manufacturing Processes*. 8, 6 (1993): 717–729, <https://doi.org/10.1080/10426919308934875>.
- [10] Teicher U., Rosenbaum T., Nestler A., Brosius A. “Characterization of the surface roughness of milled carbon fiber reinforced plastics structures”. *Procedia CIRP*. 66 (2017): 199–203, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.282>. ■