

**POSTĘPY W INŻYNIERII MECHANICZNEJ
DEVELOPMENTS IN MECHANICAL ENGINEERING**

9(5)/2017, 81-92

Czasopismo naukowo-techniczne – Scientific-Technical Journal

Tomasz SZYNKA, Tomasz PACZKOWSKI, Cezary FORJAS

**ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ ZUŻYCIA
FREZU KULOWEGO PODCZAS PIĘCIOOSIOWEJ
OBRÓBKI POWIERZCHNI KRZYWOLINIOWYCH**

Streszczenie: Proces obróbki powierzchni krzywoliniowych podczas obróbki pięcioosiowej niesie za sobą wiele zmiennych czynników, na które można wpływać, aby ten proces optymalizować. Działania polegające na zmniejszeniu kosztów wytwarzania przy jednoczesnym zwiększeniu jakości wytwarzanych elementów są pożądane i zawsze aktualne. Przedstawiono wstępne badania zużycia ostrza na frezach trzpieniowych o końcówce kulistej nazywanych frezami kulowymi. Badane frezy wykorzystywano do produkcji stempli i matryc form wtryskowych w zakładach produkcyjnych. Badania pokazują, że można zmniejszyć koszty stosowanych narzędzi, wykorzystując w większym stopniu zakres krawędzi skrawającej.

Słowa kluczowe: obróbka pięcioosiowa, frezy kulowe, zużycie narzędzia, CAD/CAM

1. OBRÓBKA NA MASZYNACH CNC

Obróbka złożonych kształtów matryc i stempli form wtryskowych do tworzyw sztucznych i kokili do metalu wykonywana jest na maszynach CNC (Computer Numeric Control). Coraz częściej są to maszyny pięcioosiowe, a programy sterujące obrabiarką generowane są w wyspecjalizowanych systemach CAM (Computer Aided Manufacturing). Program sterujący maszyną generowany jest przy założeniach, że znane są wymiary narzędzia. Po to, aby zapewnić poprawne odwzorowanie kształtów, stosuje się frezy trzpieniowe kulowe z węglików spiekanych jako narzędzia monolityczne pokrywane powłokami ochronnymi w celu zmniejszenia ich zużycia [4, 5]. Otrzymanie odpowiedniej jakości powierzchni obrabianej powoduje zmniejszenie szerokości skrawania ae przez co droga narzędzia znacznie się wydłuża. Równowaga między wysokością nierówności \mathcal{E} (rys. 1) a szerokością skrawania jest podstawą prowadzonego procesu [2, 3]. Należy pamiętać, że w przypadku matryc i stempli ostatecznym etapem jest długotrwała i pracochłonna obróbka ręczna powierzchni. Naturalnym sposobem obniżenia kosztów jest jej ograniczenie poprzez zmniejszenie ae , a tym samym wydłużanie drogi i czasu pracy narzędzia.

mgr inż. Tomasz SZYNKA, e-mail: bthform@poczta.onet.pl

dr hab. inż. Tomasz PACZKOWSKI, prof. nadzw. UTP, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,

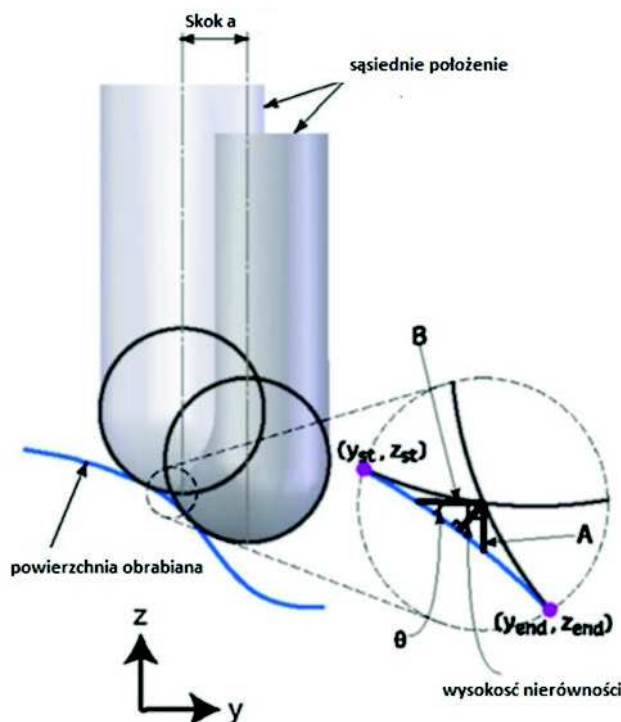
e-mail: tomasz.paczkowski@utp.edu.pl

mgr inż. Cezary FORJAS, e-mail: cforjac@gmail.com

Szerokość skrawania ae możemy obliczyć jeszcze w fazie bezwiórowej wg wzoru [1]:

$$ae = \sqrt{8 \cdot R \cdot \varepsilon} \quad (1)$$

gdzie: ae – szerokość skrawania,
 R – promień frezu kulowego,
 ε – wysokość nierówności.



Rys. 1. Wysokość nierówności ε w zależności od skoku ae
 Fig. 1. Height of inequality ε depending on stroke ae

2. BADANIA ZUŻYCIA KRAWĘDZI OSTRZA

Do przeprowadzenia badań posłużyły frezy kulowe dostarczone przez firmy zajmujące się wykonywaniem form wtryskowych techniką obróbki skrawaniem. Badane narzędzia mają rzeczywiste zużycie krawędzi tnącej wynikające z procesu frezowania. Przedstawione w opracowaniu narzędzia są frezami kulowymi, dwupiórowymi, charakteryzującymi się geometrią przeznaczoną do pracy w stali. W celu zwiększenia żywotności narzędzi oraz zapewnienia odpowiedniej jakości powierzchni obrabianych detali narzędzia pokryte są powłoką ochronną na bazie azotku tytanu i glinu, nakładane metodą PVD.

Do wykonania pomiarów użyte zostało urządzenie pomiarowe Zoller SmartCheck 600 wyposażone w dwie cyfrowe kamery video generujące obraz monochromatyczny o rozdzielczości 792x720 pikseli. Obecność w systemie

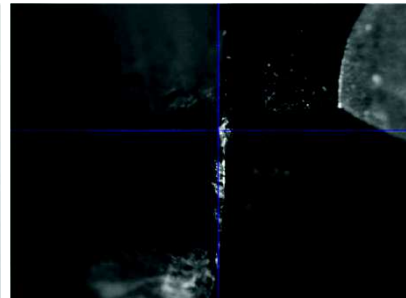
pomiarowym dwóch niezależnych kamer pozwala na pomiary narzędzia jednocześnie od strony długości średnicy oraz czoła, bez potrzeby demontażu z uchwytu zaciskowego. Obie kamery wyposażone są w oświetlenie LED w zakresie światła widzialnego, o barwie czerwonej dla jednej kamery oraz bursztynowej dla drugiej kamery, z możliwością regulacji intensywności światła padającego na mierzony obiekt.

Przeprowadzone badania zużycia narzędzi polegają na uchwyceniu i pomiarzeniu zniszczonego obszaru wzdłuż ostrza na części sferycznej kuli za pomocą systemu wizyjnego (rys. 2, 3). Należało tak dostosować warunki oświetleniowe, aby zużyty obszar na płaszczyznach natarcia i przyłożenia wyraźnie kontrastował z pozostałym obszarem kuli na tych płaszczyznach, a jednocześnie nie pokrywał się z tłem. Warunki te zostały spełnione za pomocą odpowiedniego dopasowania natężenia światła padającego na mierzony obiekt.



Rys. 2. Uszkodzony obszar na płaszczyźnie natarcia

Fig. 2. Damaged area in the plane attack



Rys. 3. Uszkodzony obszar na płaszczyźnie przyłożenia

Fig. 3. Damaged area on the application plane

Oprogramowanie wbudowane w maszynę pomiarową umożliwia nanoszenie odcinków pomiarowych dla interesujących fragmentów narzędzi na rzeczywistym obrazie z kamery. Zaznaczone odcinki opisano w skali metrycznej z dokładnością do trzeciego miejsca po przecinku. Kąty mierzone między prowadnicami przedstawiono w skali stopniowej: stopnie, minuty, sekundy.

2.1. Badania zużycia ostrza

Poniżej na rysunkach 4-17 przedstawiono serię próbek w celu pokazania rzeczywistego zużycia narzędzi wzdłuż ostrza. Przedstawione obrazy z urządzenia pomiarowego pokazują zużycie na jednej płaszczyźnie natarcia. Do opracowania wyników założono, że druga płaszczyzna przyłożenia wykazuje identyczne zużycie (rys. 5).

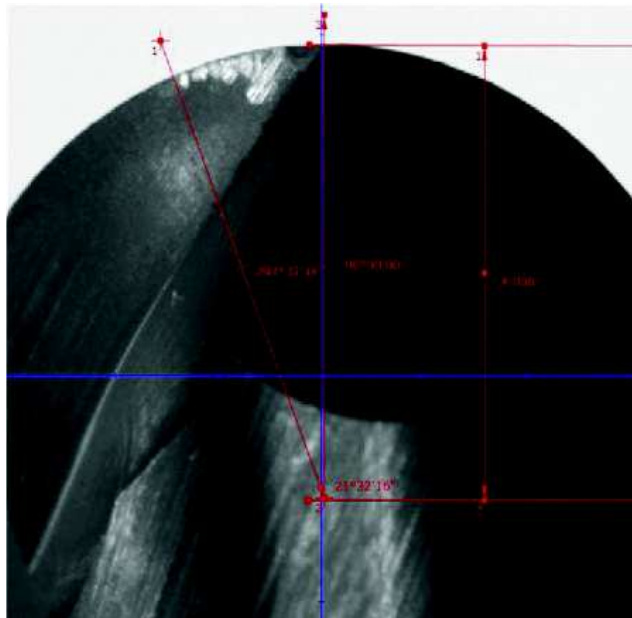
Zużycie części sferycznej kuli obliczono według wzoru:

$$\sigma = \frac{180^\circ}{2\tau} 100\% \quad (2)$$

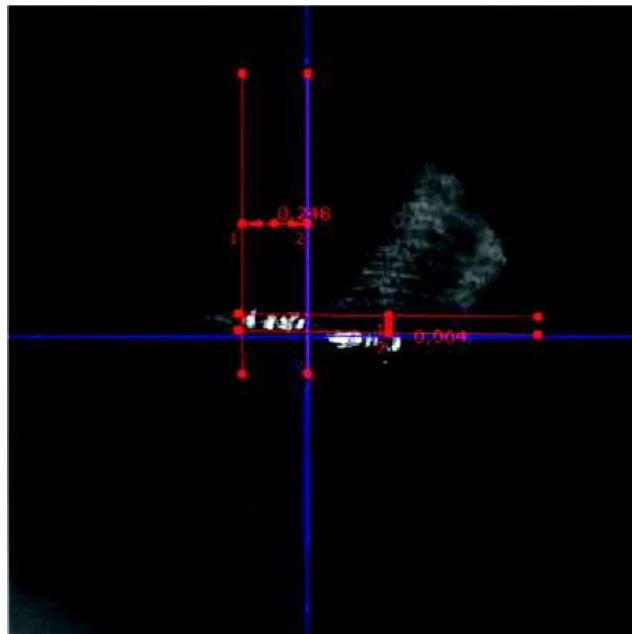
gdzie: σ – procentowe zużycie ostrza,

τ – kąt zużycia ostrza – kąt zawarty pomiędzy osią narzędzia a skrajnym punktem zużytej krawędzi.

Próbka nr 1



Rys. 4. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 4$, dwa ostrza. Widok od strony płaszczyzny natarcia
Fig. 4. Ball cutter with ball radius $R = 4$, two blades. View from the plane of attack



Rys. 5. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 4$, dwa ostrza. Widok od strony płaszczyzny przyłożenia
Fig. 5. Ball cutter with ball radius $R = 4$, two blades. View from the application plane

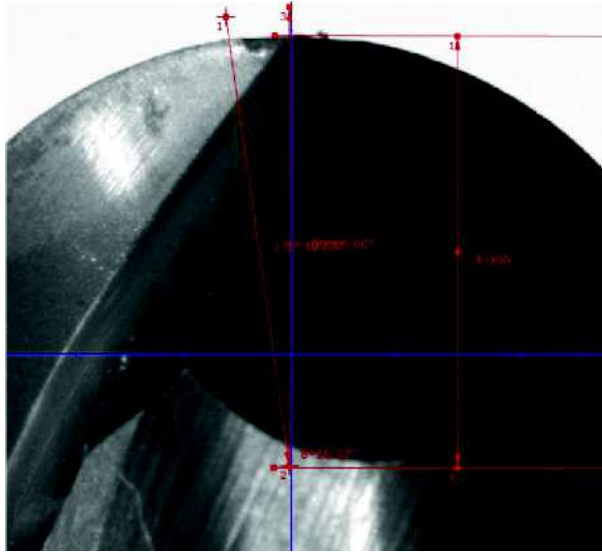
Kąt zużycia ostrza wynosi $\tau = 21,5^\circ$.

W celu określenia procentowego zużycia kulistej krawędzi skrawającej powyższe dane podstawiono do wzoru (2).

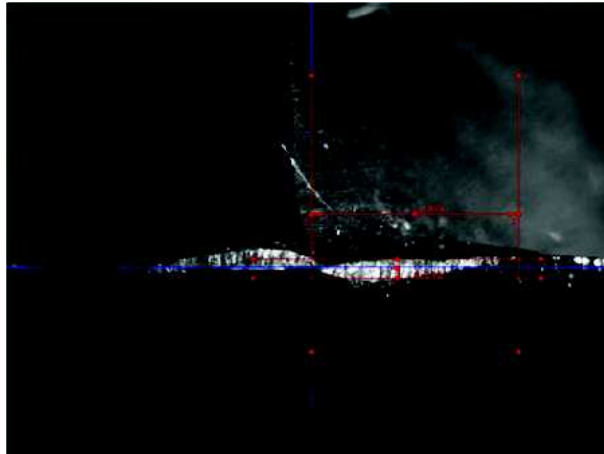
Po obliczeniach otrzymano wynik procentowego zużycia ostrza:

$\sigma = 23,9\%$.

Próbka nr 2



Rys. 6. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 4$, dwa ostrza. Widok od strony płaszczyzny natarcia
Fig. 6. Ball cutter with ball radius $R = 4$, two blades. View from the plane of attack

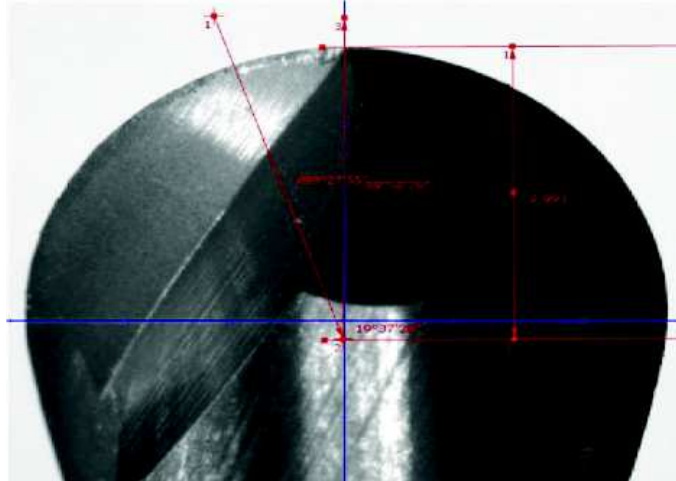


Rys. 7. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 4$, dwa ostrza. Widok od strony płaszczyzny przyłożenia
Fig. 7. Ball cutter with ball radius $R = 4$, two blades. View from the application plane

Zmierzony kąt zużycia ostrza $\tau = 8,16^\circ$.

Procentowe zużycie ostrza $\sigma = 9,06\%$.

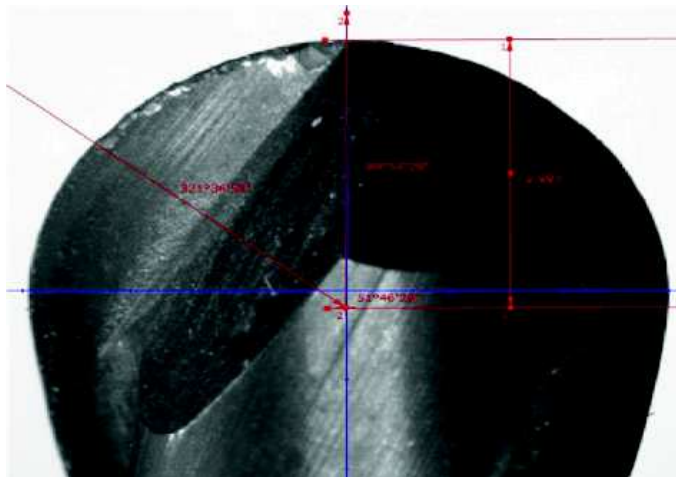
Próbka nr 3



Rys. 8. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 3$, dwa ostrza
Fig. 8. Ball cutter with ball radius $R = 3$, two blades

Zmierzony kąt zużycia ostrza $\tau = 19,61^\circ$.
Procentowe zużycie ostrza $\sigma = 21,79\%$.

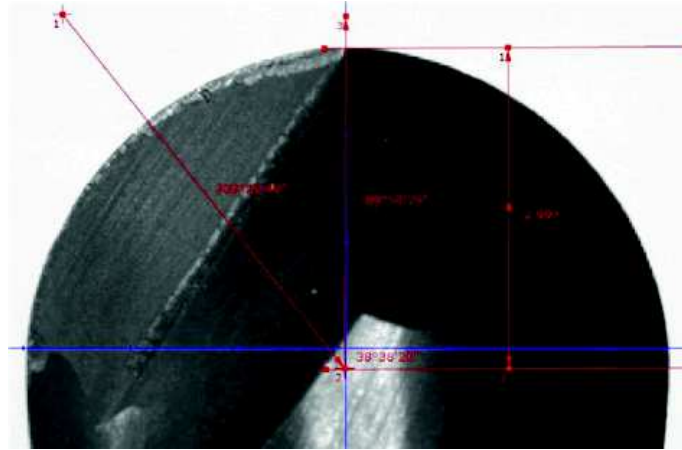
Próbka nr 4



Rys. 9. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 3$, dwa ostrza
Fig. 9. Ball cutter with ball radius $R = 3$, two blades

Zmierzony kąt zużycia ostrza $\tau = 51,76^\circ$.
Procentowe zużycie ostrza $\sigma = 57,51\%$.

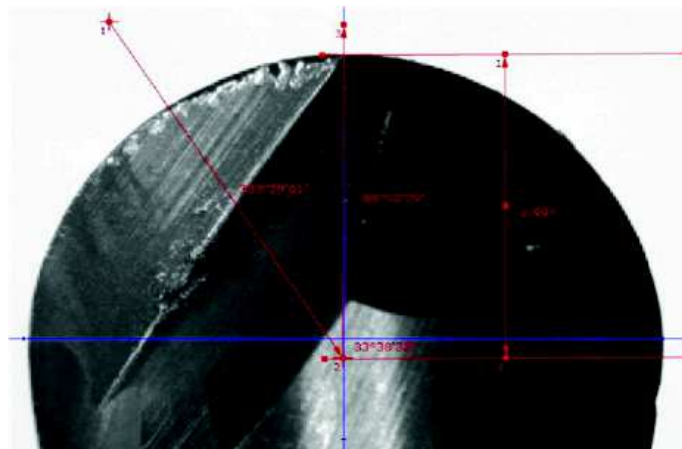
Próbka nr 5



Rys. 10. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 3$, dwa ostrza
Fig. 10. Ball cutter with ball radius $R = 3$, two blades

Zmierzony kąt zużycia ostrza $\tau = 38,64^\circ$.
Procentowe zużycie ostrza $\sigma = 42,93\%$.

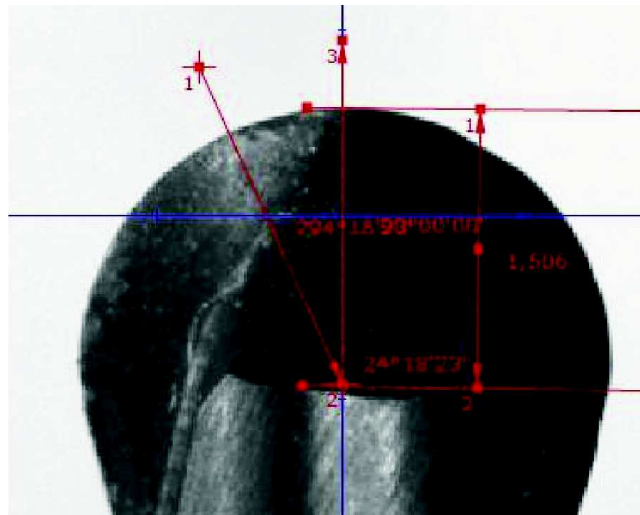
Próbka nr 6



Rys. 11. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 3$, dwa ostrza
Fig. 11. Ball cutter with ball radius $R = 3$, two blades

Zmierzony kąt zużycia ostrza $\tau = 33,63^\circ$.
Procentowe zużycie ostrza $\sigma = 37,36\%$.

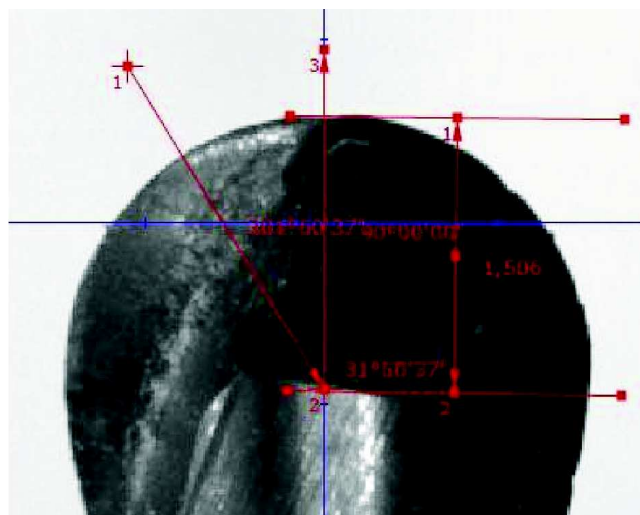
Próbka nr 7



Rys. 12. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 3$, dwa ostrza
Fig. 12. Ball cutter with ball radius $R = 3$, two blades

Zmierzony kąt zużycia ostrza $\tau = 24,30^\circ$.
Procentowe zużycie ostrza $\sigma = 27,00\%$.

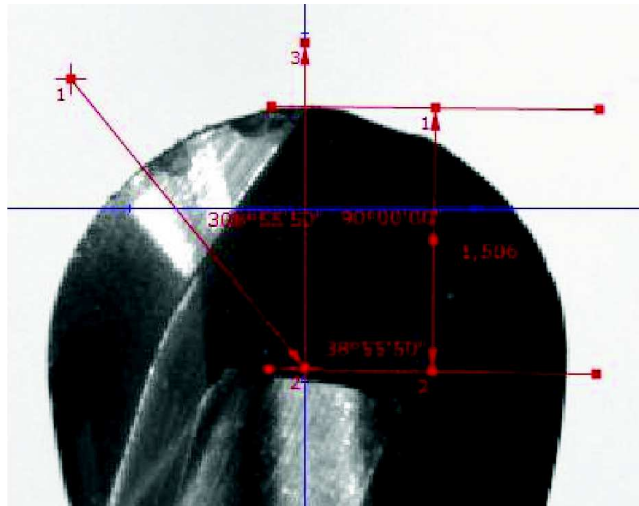
Próbka nr 8



Rys. 13. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 3$, dwa ostrza
Fig. 13. Ball cutter with ball radius $R = 3$, two blades

Zmierzony kąt zużycia ostrza $\tau = 31,84^\circ$.
Procentowe zużycie ostrza $\sigma = 35,37\%$.

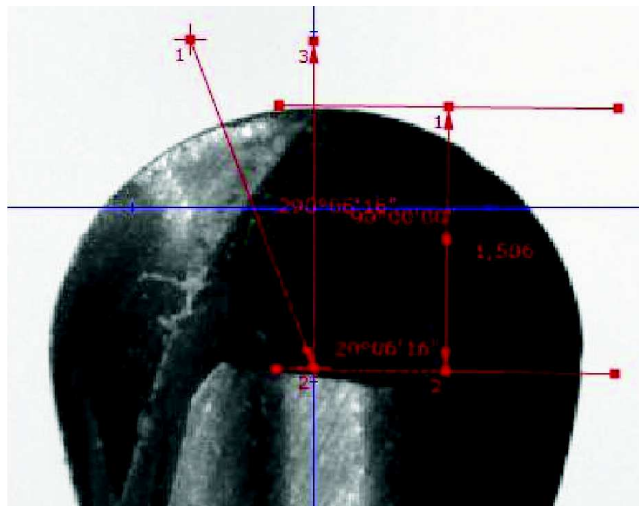
Próbka nr 9



Rys. 14. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 1,5$, dwa ostrza
Fig. 14. Ball cutter with ball radius $R = 1,5$, two blades

Zmierzony kąt zużycia ostrza $\tau = 38,93^{\circ}$.
Procentowe zużycie ostrza $\sigma = 43,25\%$.

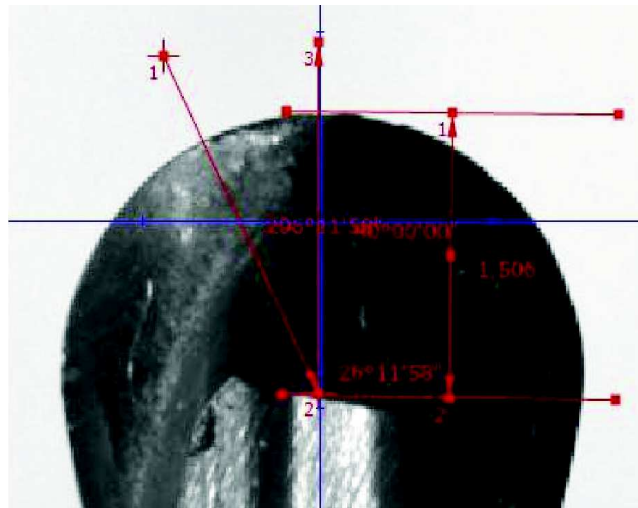
Próbka nr 10



Rys. 15. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 3$, dwa ostrza
Fig. 15. Ball cutter with ball radius $R = 3$, two blades

Zmierzony kąt zużycia ostrza $\tau = 20,10^{\circ}$.
Procentowe zużycie ostrza $\sigma = 22,33\%$.

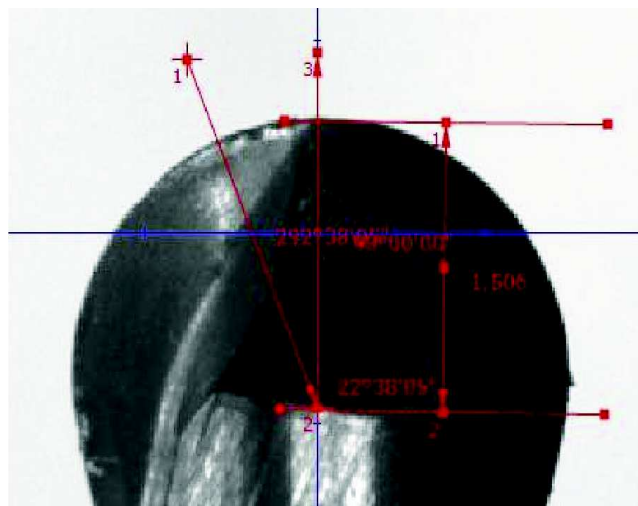
Próbka nr 11



Rys. 16. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 3$, dwa ostrza
Fig. 16. Ball cutter with ball radius $R = 3$, two blades

Zmierzony kąt zużycia ostrza $\tau = 26,20^\circ$.
Procentowe zużycie ostrza $\sigma = 29,11\%$.

Próbka nr 12



Rys. 17. Frez kulowy o promieniu kuli $R = 3$, dwa ostrza
Fig. 17. Ball cutter with ball radius $R = 3$, two blades

Zmierzony kąt zużycia ostrza $\tau = 22,63^\circ$.
Procentowe zużycie ostrza $\sigma = 25,14\%$.

Wyniki obliczeń procentowego zużycia ostrza przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki obliczeń procentowego zużycia ostrza
Table 1. The results of calculations of the percentage of blade wear

Nr próbki	Procentowe zużycie ostrza σ
1	23,90
2	9,06
3	21,79
4	57,71
5	42,93
6	37,36
7	27,00
8	35,37
9	43,25
10	22,33
11	29,11
12	25,14

Średnie procentowe zużycie ostrza na części sferycznej frezów kulowych dostarczonych przez przemysł wynosi: 31,25%. Należy przyjąć, że pozostała część ostrza nadal nadaje się do pracy.

3. PODSUMOWANIE

Frezy kulowe pracujące w przemyśle narzędziowym, przy produkcji form wtryskowych nie są w pełni wykorzystane. Z obliczeń procentowego zużycia krawędzi skrawającej wynika, że przy odpowiedniej eksploatacji, z wykorzystaniem obrabiarek pięcioosiowych, mogą one pokonać znacznie dłuższą drogę skrawania. Obróbka na maszynach pięcioosiowych wiąże się z możliwością zmiany kąta osi frezu względem powierzchni obrabianej. Zmiana kąta może następować również w czasie obróbki symultanicznej [5] w taki sposób, aby obrabiać nieużywaną częścią krawędzi skrawającej. Dodatkową zaletą takiej obróbki jest utrzymanie tej samej dokładności i jakości powierzchni.

W związku z tym konieczna jest analiza kąta pochylecia narzędzia podczas pracy, która będzie podstawą do jego modyfikowania. Istniejące na rynku programy CAM takich możliwości nie mają. Powstała więc koncepcja opracowania nowej strategii obróbkowej do programów CAM, analizującej pracę narzędzia tak, aby wykorzystywać całą krawędź skrawającą. Wymaga to dalszych badań czynników wpływających na zużycie narzędzia w celu określenia danych wejściowych i brzegowych.

LITERATURA

- [1] KANDARP P., BOLAÑOS G., BASSI R., BEDI S.: Optimal tool shape selection based on surface geometry for three-axis CNC machining. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 57, 2011, 655-670.
- [2] KOSEK A., CICHOSZ P.: Wysokowydajna obróbka form i matryc. [W:] *Obróbka skrawaniem – Wysoka produktywność*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007, 109-129.
- [3] TAE-SUNG J., MIN-YANG Y., KANG-JAE L.: A new approach to analysing machined surfaces by ball-end milling, part I: Formulation of characteristic lines of cut remainder. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 25(9-10), 2004, 833-840.
- [4] WOJCIECHOWSKI S., TWARDOWSKI P., CHWALCZUK T.: Surface roughness of hardened steel after ball end milling with various surface inclination. *Archives of Mechanical Technology and Automation* 33(1), 2013, 55-64.
- [5] YUWEN S., YURONG B., KAIXUAN K., DONGMING G.: A cutter orientation modification method for five-axis ball-end machining with kinematic constraints. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 67, 2013, 2863-2874.

OPTIMIZATION OF BULK FLOW CONSUMPTION DURING 5 AXLES OF CRIMP SURFACE TREATMENT

Summary: The process of treating curved surfaces during axial machining has many variable factors that can be influenced to optimize the process. However, not all operations involving the cost of fabrication while increasing the quality of the produced parts are desirable and always up to date. Blade wear on spherical end mills called ball mills used for the production of punches and molds for injection molds in manufacturing plants. The result of this research is the belief that the cost of tools used can be reduced by using a larger cutting edge, and ideally it will be used in its entirety.

Key words: 5 axis machining, ball mills, tool wear, CAD/CAM