

Dr hab. inż. Jan BUREK, prof. PRz; mgr inż. Karol ŻURAWSKI;  
mgr inż. Piotr ŻUREK, mgr inż. Jacek MISIURA (Politechnika Rzeszowska):

## **DOKŁADNOŚĆ KSZTAŁTOWA POWIERZCHNI ZŁOŻONEJ PO PROCESACH SYMULTANICZNEGO 5-OSIOWEGO FREZOWANIA PUNKTOWEGO ORAZ OBWODOWEGO**

### Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań dokładności wymiarowo-kształtowej powierzchni złożonych obrabianych punktowo frezem kulistym i obwodowo frezem stożkowym na 5-osiowym centrum obróbkowym DMG HSC 55 Linear. Pomiary dokładności wymiarowo-kształtowej poszczególnych elementów testowych wykonano na współrzędnościowej maszynie pomiarowej ZEISS Accura II.

**Słowa kluczowe:** *frezowanie pięcioosiowe, frezowanie punktowe, frezowanie obwodowe*

## **FORM ACCURACY OF A SCULPTURED SURFACE AFTER PROCESSES OF SIMULTANEOUS FIVE-AXIS POINT AND FLANK MILLING**

### Abstract

In the article, the results of studies of dimensional and form accuracy of sculptured surfaces will be presented. Test elements will be machined by point and flank milling on the five axis machining center - DMG HSC 55 Linear. Moreover, the measurements of dimensional and form accuracy of each of the test elements will be made by ZEISS Accura II coordinate measuring machine.

**Keywords:** *five axis milling, point milling, flank milling*

# DOKŁADNOŚĆ KSZTAŁTOWA POWIERZCHNI ZŁOŻONEJ PO PROCESACH SYMULTANICZNEGO 5-OSIOWEGO FREZOWANIA PUNKTOWEGO ORAZ OBWODOWEGO

Jan BUREK, Piotr ŻUREK, Karol ŻURAWSKI, Jacek MISIURA<sup>1</sup>

## 1. WSTĘP

W ostatnim okresie obserwuje się dynamiczny rozwój przemysłu lotniczego oraz motoryzacyjnego. Wraz ze wzrostem zastosowania złożonych konstrukcji stawiane są coraz wyższe wymagania dla technik ich wytwarzania. Wiele elementów, szczególnie sprężarek oraz turbin zawiera powierzchnie złożone. To stawia dodatkowe wymagania w ich procesie produkcyjnym.

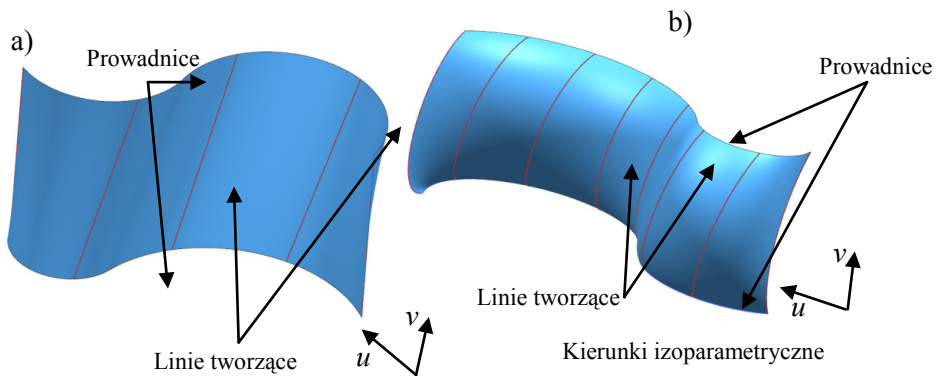
Aktualnie tolerancje wykonania części maszyn przepływowych są rzędu kilku setnych milimetra i ciągle ulegają zmniejszaniu. Ma to przełożenie na sprawność całych konstrukcji, dlatego sprośanie tym wymaganiom jest niezbędne. Drugim istotnym aspektem niezbędnym do spełnienia jest jak największa wydajność obróbki. Wytwarzanie elementów o złożonych kształtach zajmuje zazwyczaj wiele godzin. Zmniejszenie czasu obróbki jest kluczowe do utrzymania konkurencyjności produktu i przedsiębiorstwa [1].

Produkowane obecnie 5–osiowe obrabiarki CNC z wykorzystaniem zaawansowanych systemów CAM, pozwalają na wykonywanie złożonych elementów z pełnego materiału. Dotychczas stosuje się wiele strategii frezowania powierzchni złożonych. Różnice w czasie obróbki różnymi strategiami mogą być niekiedy kilkukrotne. Jednak w zależności od rodzaju obrabianej powierzchni, wykorzystanie tych strategii jest uwarunkowane dokładnością wykonania powierzchni [4,5].

---

<sup>1</sup> Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Katedra Techniki Wytwarzania i Automatyzacji, ul. Wincentego Pola 2, Budynek C, 35-959 Rzeszów

W elementach maszyn przepływowych najczęściej spotyka się dwa rodzaje powierzchni złożonych. Są to powierzchnie prostokreślne (rys.1a) oraz krzywokreślne (rys.1b). Zasadniczą różnicą między nimi jest to, że powierzchnia prostokreślna posiada krzywiznę w jednym kierunku, a krzywokreślna w obu. W powszechnym rozumieniu oznacza to, że powierzchnia prostokreślna powstaje w wyniku przeprowadzania odcinka przez dwie prowadnice. W takiej sytuacji krzywe w jednym z kierunków izoparametrycznych( $v$ ) będą opisane równaniem prostej. W przypadku powierzchni krzywokreślnych oba kierunki izoparametryczne ( $u, v$ ) mogą być zdefiniowane dowolnymi wielomianami [3].

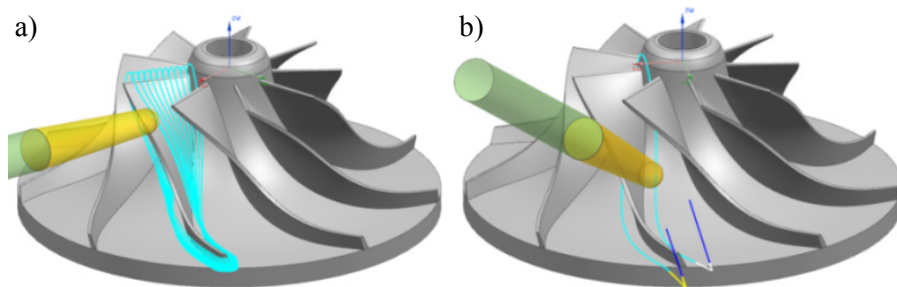


Rys.1 Powierzchnie złożone: a) prostokreślna (linie izoparametryczne  $v$  są proste),  
b) krzywokreślna (linie izoparametryczne  $u, v$  są krzywymi)

## 2. STRATEGIE FREZOWANIA POWIERZCHNI ZŁOŻONYCH

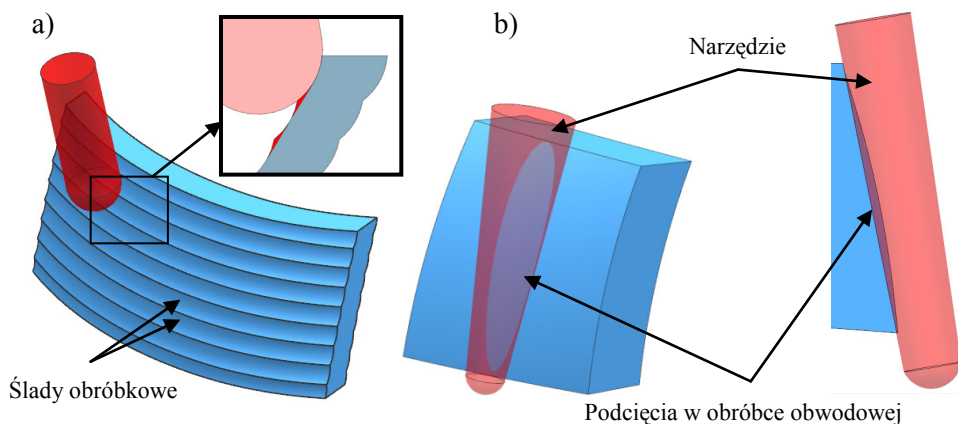
W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań dokładności frezowania punktowego frezem kulistym oraz obwodowego frezem stożkowym. Te dwie strategie są najczęściej stosowane w obróbce powierzchni złożonych. Zasadniczą różnicą między nimi jest pole przekroju warstwy skrawanej, a stąd wynikająca wydajność obróbki.

Frezowanie punktowe (rys.2a) powierzchni złożonych, ze względu na mały przekrój warstwy skrawanej wymaga wielu przejść obróbkowych. Stąd też uzyskanie ostatecznego profilu powierzchni z małymi głębokościami oraz szerokościami skrawania wymaga odpowiednio długiego czasu obróbki. Narzędzie jakim jest frez kulisty często pracuje na dużych wysięgach, co wprowadza dodatkowy problem z odkształceniem sprężystym narzędzia. Inną wadą tej metody jest powstawanie śladu obróbkowego. Jest to bezpośrednio związane z odstępami między ścieżkami obróbkowymi oraz promieniem narzędzia (rys.3a). Jednak taka kinematyka pozwala na uzyskanie dokładnego odwzorowania powierzchni niezależnie od jej kształtu [4].



Rys. 2 Strategie obróbki powierzchni wirnika promieniowego: a) punktowa, b) obwodowa

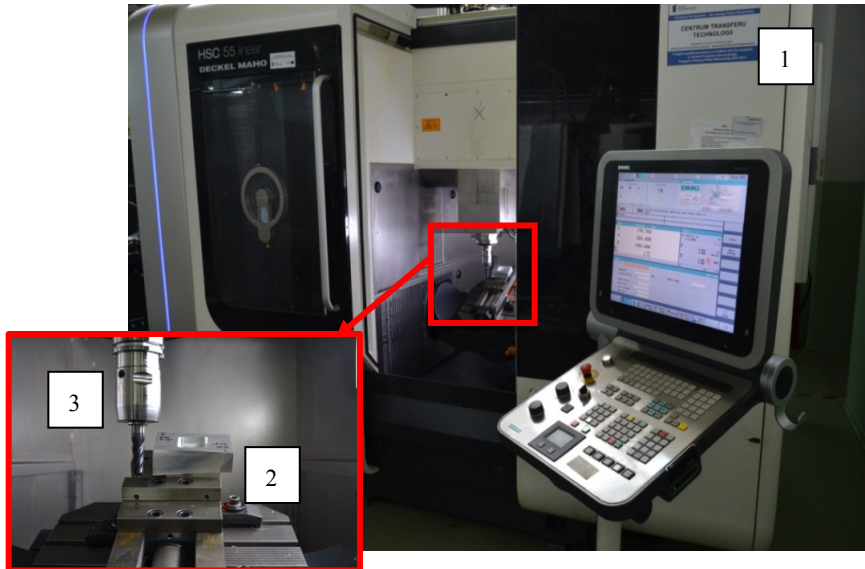
Alternatywą dla tej strategii jest frezowanie obwodowe (rys.2b). Pozwala ono na wielokrotne obniżenie czasu obróbki. Przekrój warstwy skrawanej w tym przypadku jest znacznie większy. Obróbka powierzchni odbywa się w jednym przejściu. Jednakże taka kinematyka niesie za sobą pewne utrudnienia. Pierwszym z nich jest występowanie podcięć, które w zależności od geometrii przedmiotu mogą przekroczyć granice tolerancji. Innym problemem jest znacznie większa siła skrawania, co skutkuje odkształcaniem narzędzia [2].



Rys. 3 Ślady obróbki wynikające z kinematyki : a) punktowej, b) obwodowej

### 3. PRZEBIEG BADAŃ

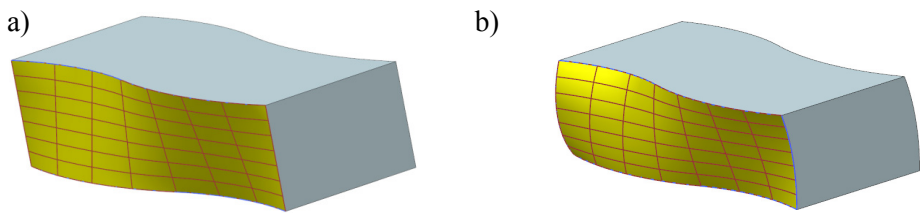
Badania zostały wykonane na 5-osiowej frezarce CNC typu HSC 55 Linear firmy DMG z układem sterownia SINUMERIK 840D (rys.4). Jako narzędzie zastosowano pełnowęglkowy frez kulisty firmy Sandvik 1B240-0800-XA-1630 oraz pełnowęglkowy frez stożkowy firmy Sandvik R216.54-08040RAL-40G 1620.



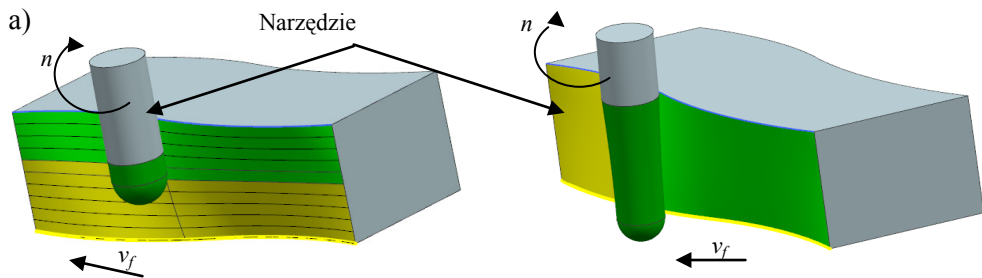
Rys.4. Stanowisko badawcze: 1) centrum obróbkowe DMG HSC 55 Linear, 2) przedmiot obrabiany, 3) narzędzie

Przedmiot testowy stanowiła kostka o wymiarach 100x80x30mm z dwiema powierzchniami złożonymi. Dokładność badano na powierzchniach prostokreślnych (rys.5a) oraz krzywokreślnych (rys.5b).

Badania prowadzone były dla dwóch strategii obróbkowych. W pierwszej z nich prowadzono obróbkę punktową poprzez wierszowanie (rys.6a). Druga strategia polegała na jednorazowym przejściu powierzchnią boczną freza stożkowego (rys.6b).



Rys.5 Przedmiot testowy z powierzchnią: a) prostokreślną, b) krzywokreślną



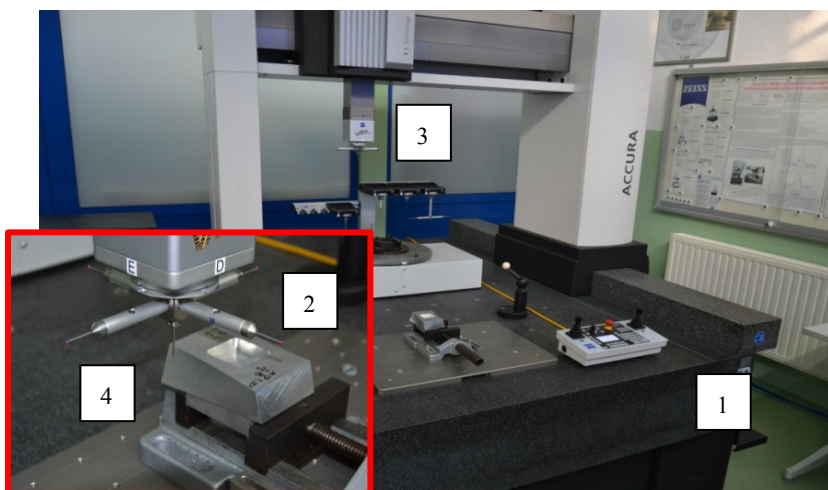
Rys.6 Badane strategie obróbkowe: a) punktowa, b) obwodowa

Dla poszczególnych strategii zastosowano parametry obróbki przedstawione w tab.1.

Tab.1 Parametry obróbki

Strategie	Frezowanie punktowe	Frezowanie obwodowe
$v_c$ [m/min]	800	800
$v_f$ [mm/min]	2000	500
$a_p$ [mm]	0,5	30
$a_e$ [mm]	1	1
Średnica narzędzia[mm]	12	12
Czas obróbki	4 min 36 s	16 s

Pomiary przeprowadzono na maszynie CARL ZIESS ACCURA II.



Rys.7 Stanowisko pomiarowe: 1–maszyna pomiarowa Carl Zeiss ACCURA II, 2–model testowy, 3–głowica pomiarowa Vast, 4–końcówka pomiarowa

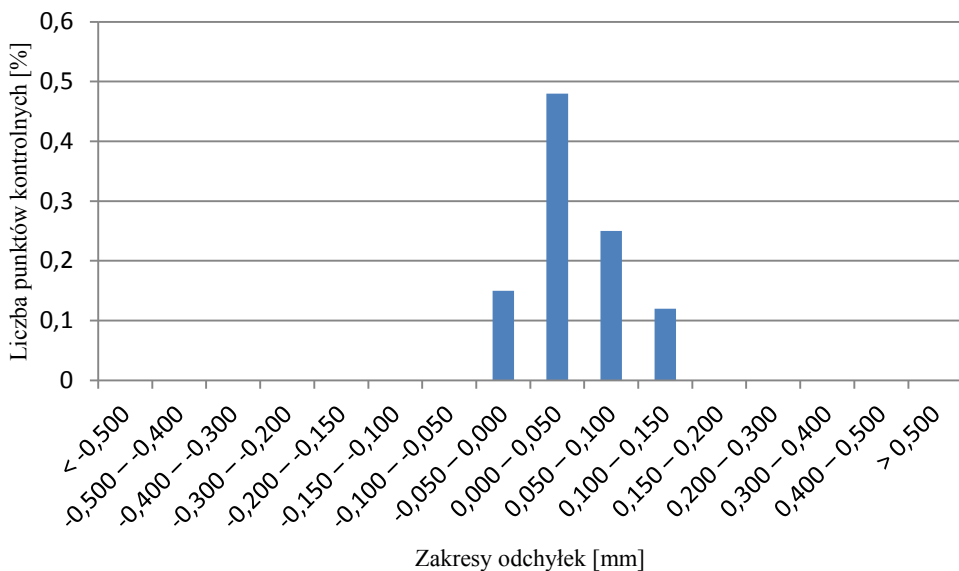
#### 4. ANALIZA WYNIKÓW

Pomiar przeprowadzono poprzez zmierzenie 300 równomiernie rozłożonych punktów na badanych powierzchniach. Następnie wyniki zostały poddane analizie w programie Focus Inspection [6].

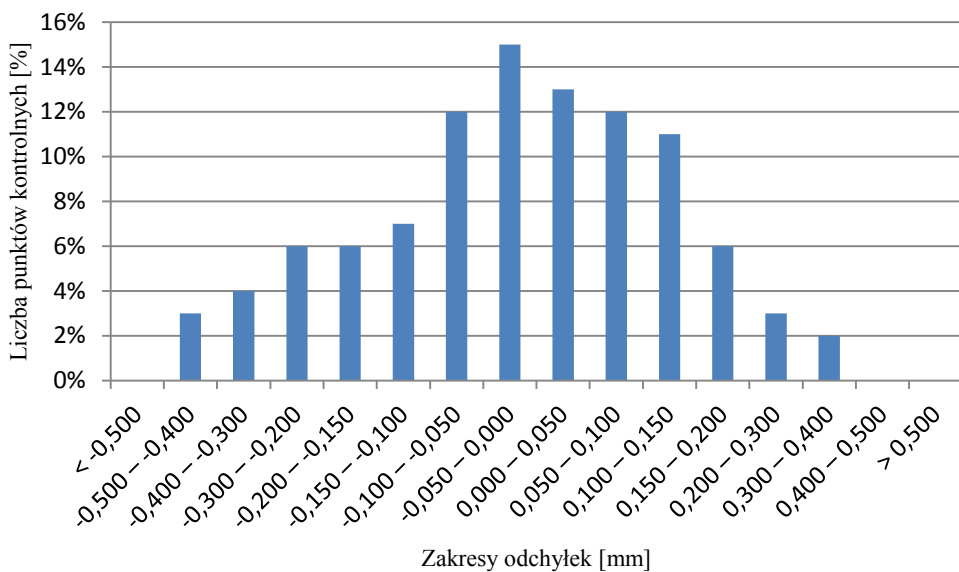
Wyniki pomiarów odchyłek przedstawiono na rys. 8 ÷ 11. Z przedstawionych wyników można zauważyć znacznie większą dokładność frezowania punktowego. Dla tej strategii uzyskano 90% punktów w zakresie odchyłek  $-0,1 \div 0,1$  mm. W przypadku frezowania obwodowego odchyłki były znacznie większe, dochodzące do 0,5 mm. Należy przypuszczać, że odchyłki te wynikają z podcięć na skutek kinematyki obróbki tej strategii. Natomiast procent punktów zawierających się w przedziale  $-0,1 \div 0,1$  mm wynosił odpowiednio 51% dla powierzchni prostokątnej oraz 35% dla krzywokątnej.

Zauważalna jest również różnica w dokładności pomiędzy frezowaniem obwodowym powierzchni prostokątnej (rys. 9.) oraz krzywokątnej (rys. 11.). W pierwszym przypadku w przedziale  $-0,2 \div 0,2$  mm zawiera się 83% wszystkich badanych punktów, natomiast dla drugiego typu powierzchni wartość ta wynosi 75%. Wiadomym jest, że wynik ten ściśle zależy od krzywizny powierzchni obrabianej i może ulec zmianie.

Należy również zwrócić uwagę na czas obróbki. W przypadku frezowania obwodowego jest on 17 krotnie mniejszy niż dla strategii punktowej.

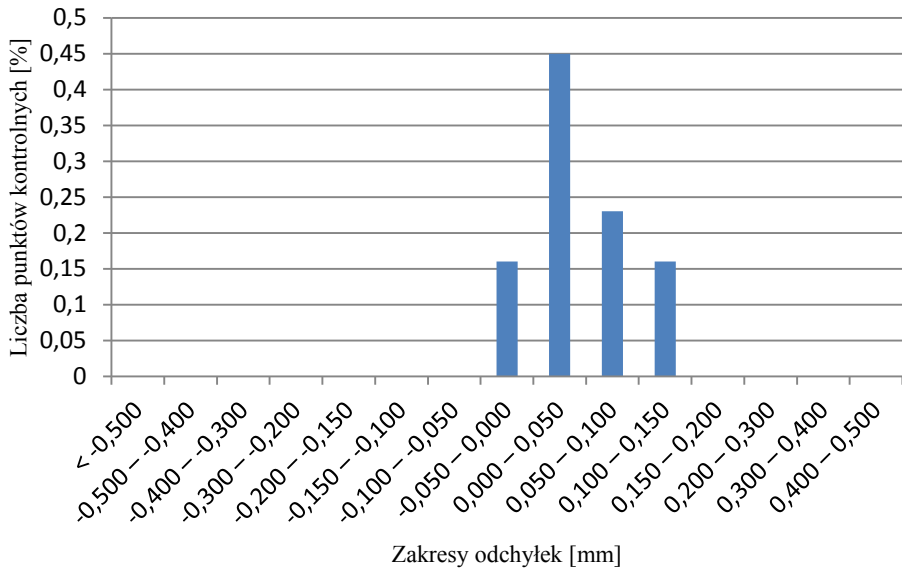


Rys. 8 Wartości odchyłek punktów pomiarowych po obróbce powierzchni prostokresnej frezem kulistym.

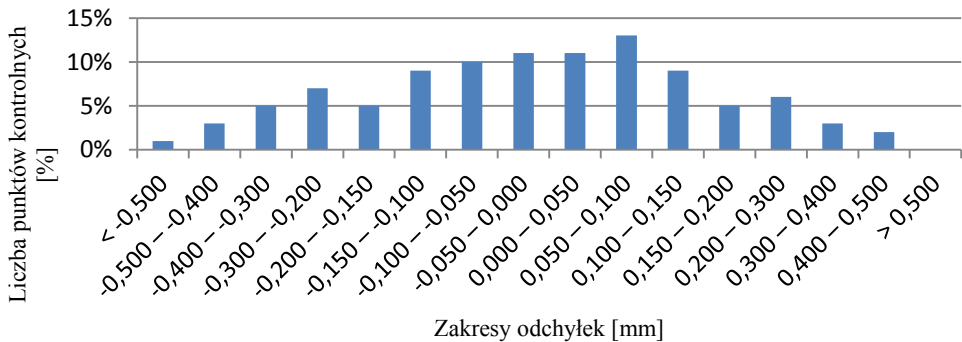


Rys. 9 Wartości odchyłek punktów pomiarowych po obróbce powierzchni prostokresnej frezem stożkowym.





Rys. 10 Wartości odchyłek punktów pomiarowych po obróbce powierzchni krzywokształnej frezem kulistym.



Rys. 11 Wartości odchyłek punktów pomiarowych po obróbce powierzchni krzywokształnej frezem stożkowym.

## 5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można zauważyć znaczną różnicę w dokładności rozpatrywanych strategii obróbki. Frezowanie punktowe pozwala uzyskać wyższą dokładność kształtową dla obu badanych typów powierzchni. Utrzymanie zawężonych tolerancji w wielu przypadkach będzie wymagało zastosowania tej strategii. Jednak szczególnie dla powierzchni prostokształnych o mniejszym skruceniu

obróbka obwodowa może stanowić alternatywę. Wielokrotnie mniejszy czas frezowania obwodowego jest czynnikiem stymulującym rozwój tej technologii. Należy również podkreślić, że dokładność obróbki powierzchni złożonych zależy ściśle od ich geometrii, co oznacza że może ona ulec zmianie w zależności od badanego przypadku.

#### LITERATURA

- [1] BUREK J., ŻURAWSKI K., PŁODZIEN M., ŻUREK P., Analiza strategii symultanicznego pięcioposiowego frezowania powierzchnią boczną frezu stożkowego, *Mechanik*, 2013.
- [2] BUREK J., ŻURAWSKI K., ŻUREK P., Wpływ kąta prowadzenia frezu na dokładność wymiarowo-kształtową powierzchni prostokreślnych, *Mechanik*, 2014.
- [3] KICIAK P., *Podstawy modelowania krzywych i powierzchni – zastosowania w grafice komputerowej*, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa, 2005.
- [4] TASY D. M., HER M. J., Accurate 5–Axis Machining of Twisted Ruled Surfaces, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2001.
- [5] WALDT N., NC–Programmierung für das funfachsige Flankenfräsen von Feriformflächen, Universität Hannover, 2005.
- [6] PN-EN ISO 1101:2006 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Tolerancje geometryczne: Tolerancje kształtu, kierunku, położenia i bicia.