

Jan BARAN<sup>1\*</sup>  
Jarosław PLICHTA<sup>1</sup>

## **SZLIFOWANIE POWIERZCHNI O ZMIENNEJ KRZYWIŹNIE DYSKAMI ŚCIERNYMI TRIZACT™**

W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania innowacyjnej głowicy szlifiersko-polarskiej do obróbki powierzchni o zmiennej krzywiznie. Powierzchnie kształtowe obrabiane były na 3-osiowym centrum frezarskim HAAS frezem kulowym, a następnie szlifowane z wykorzystaniem elastycznych jednowarstwowych dysków ściernych Trizact™ o gradacji aglomeratu ściernego A100 oraz A6. Wielkość mikroziaren ściernych dobrano w celu nadania jednorodnej struktury geometrycznej. Większą gradację stosowano do obróbki zgrubnej, kolejno mniejszą gradację, do wygładzenia wierzchołków profilu powierzchni obrobionej.

### **1. WPROWADZENIE**

W zaawansowanych procesach obróbki powierzchni o zmiennej krzywiznie, często zachodzi konieczność prowadzenia obróbki wielozabiegowej, np. szlifowania wstępnego i wykończeniowego. Jest to szczególnie istotne w przypadku obróbki wysokowydajnej oraz obróbki materiałów trudnoskrawalnych. W tym celu niezbędna jest zmiana parametrów obróbki, ale niekiedy także zmiana charakterystyki narzędzia ściernego. Aby zapewnić wyżej wymienione możliwości, trzeba stosować nowe rozwiązania narzędzi o odpowiednio dobranych właściwościach, co umożliwi skrócenie czasu przygotowawczego, związanego z wymianą i ostrzeniem narzędzi ściernych [1],[2],[3],[4],[5].

W ostatnich latach w procesie szlifowania powierzchni dokonano dużego postępu związanego z zastosowaniem nowych materiałów ściernych. Nowe rozwiązania konstrukcyjne narzędzi i nowe materiały ściernie, znacznie rozszerzyły swój zakres zastosowań. Głównymi zaletami nowych technologii jest: elastyczność narzędzia, możliwość obróbki dużym obszarem narzędzia, mniejsze siły i naprężenia przy skrawaniu oraz wyeliminowanie konieczności użycia płynów chłodząco smarujących [6],[7],[8],[9],[10].

Najczęściej stosowanymi narzędziami ściernymi do obróbki powierzchni o zmiennej krzywiznie, są narzędzia ściernie nasypowe na podłożach elastycznych. Narzędzia te w swej

---

<sup>1</sup> Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Produkcji, Koszalin

\* E-mail: jan.baran@tu.koszalin.pl

konstrukcji i właściwościach dopuszczają znaczne sprężyste przemieszczanie się ziaren ściernych w kierunku składowych sił skrawania.

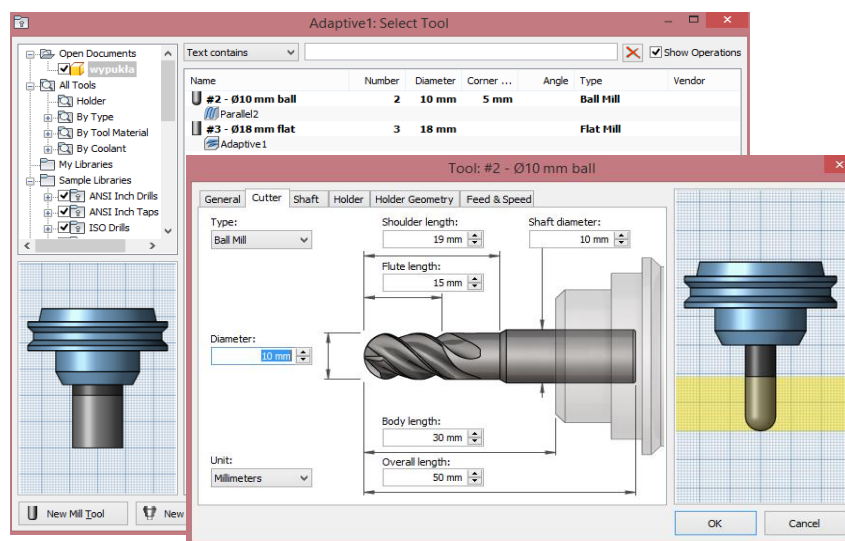
Wobec powyższego w Katedrze Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej, podejmuje się próby realizacji obróbki kompleksowej, projektując innowacyjne głowice montowane na obrabiarkach konwencjonalnych i robotach przemysłowych, wyposażonych w magazyny narzędziowe i zmieniacz ściernic.

## 2. PRZYGOTOWANIE PRZEDMIOTÓW OBRABIANYCH DO BADAŃ

Do badań procesu wygładzania powierzchni o zmiennej krzywiznie przygotowano dwa specjalnie ukształtowane przedmioty obrabiane, które wykonano na 3-osiowym centrum obróbczym VF-2 produkcji HAAS (rys. 1).



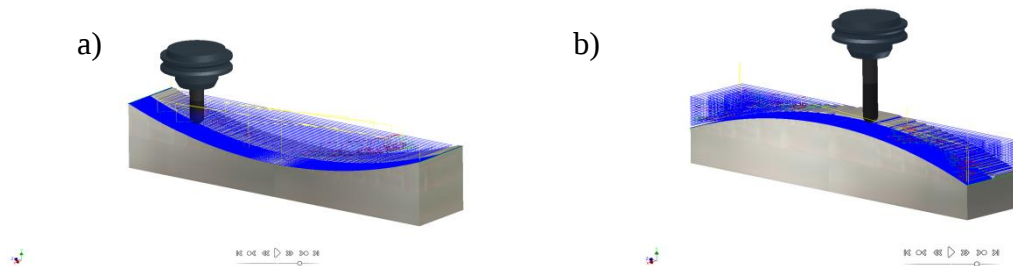
Rys. 1. Centrum obróbcze VF-2 produkcji HAAS  
Fig. 1. Machining center VF-2 production HAAS



Rys. 2. Okno systemu HSM służące do doboru narzędzi i parametrów obróbki  
Fig. 2. Window HSM system used for selection of tools and machining parameters

Do obróbki kształtującej zastosowano frez kulisty, a program sterujący opracowano w systemie HSM Inventor (rys. 2).

Po zaprogramowaniu, kod sterujący CNC został zweryfikowany w programie symulacyjnym, wygenerowany przez postprocesor *haas.cps-Generic HAAS* i przesłany do układu sterowania centrum obróbczego (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Symulacja procesu frezowania: a) powierzchni wklęsłej, b) powierzchni wypukłej  
Fig. 3. Simulation process of milling: a) concave surface, b) convex face

```

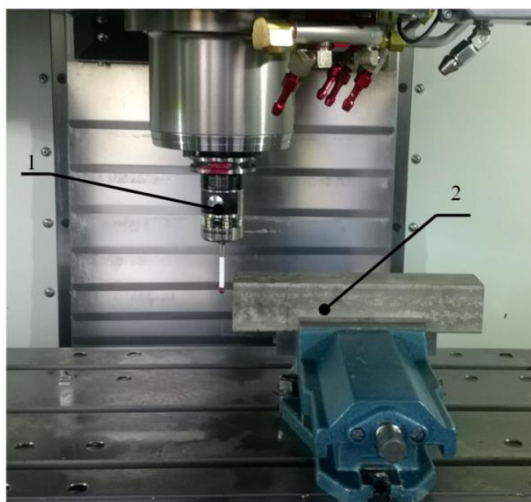
1  #
2  O01001
3  (T2 D=10. CR=5. - ZMIN=-24.198 - ball end mill)
4  (T3 D=18. CR=0. - ZMIN=-24. - flat end mill)
5  N5 G90 G94 G17
6  N7 G21
7  N9 G53 G0 Z0.
8
9  (Adaptivel)
10 N13 T3 M6
11 N15 S500 M3
12 N17 G54
13 N19 M8
14 N25 G0 X99.977 Y-10.502
15 N27 G43 Z15. H3
16 N29 T2
17 N31 G0 Z5.
18 N33 Z1.6
19 N35 G1 Z-0.2 F70.
20 N37 X99.97 Y-10.5 Z-0.366
21 N39 X99.948 Y-10.493 Z-0.531
22 N41 X99.911 Y-10.483 Z-0.693
23 N43 X99.86 Y-10.468 Z-0.85
24 N45 X99.796 Y-10.449 Z-1.002
25 N47 X99.718 Y-10.426 Z-1.148
26 N49 X99.628 Y-10.399 Z-1.285
27 N51 X99.527 Y-10.369 Z-1.413
28 N53 X99.414 Y-10.336 Z-1.53
29 N55 X99.291 Y-10.299 Z-1.636
30 N57 X99.16 Y-10.26 Z-1.73
31 N59 X99.02 Y-10.219 Z-1.811
32 N61 X98.874 Y-10.176 Z-1.878
33 N63 X98.723 Y-10.131 Z-1.931
34 N65 X98.568 Y-10.085 Z-1.969
35 N67 X98.41 Y-10.039 Z-1.992
36 N69 X98.251 Y-9.992 Z-2.
37 N71 G3 X92.687 Y-8.982 I-7.443 J-25.171
38 N73 G1 X92.638 Y-8.98
39 N75 X92.098 Y-8.927
40 N77 X91.559 Y-8.839
41 N79 X91.02 Y-8.705
42 N81 X90.48 Y-8.564
43 N83 X89.941 Y-8.359
44 N85 X89.549 Y-8.2
45 N87 X88.862 Y-7.847
46 N89 X88.517 Y-7.66
47 N91 X88.323 Y-7.529

14301 N28601 X162.95 Z-2.609
14302 N28603 X165.31 Z-2.881
14303 N28605 X168.005 Z-3.211
14304 N28607 X170.698 Z-3.562
14305 N28609 X173.051 Z-3.888
14306 N28611 X175.738 Z-4.28
14307 N28613 X178.422 Z-4.692
14308 N28615 X181.102 Z-5.126
14309 N28617 X183.445 Z-5.524
14310 N28619 X186.118 Z-5.998
14311 N28621 X188.788 Z-6.493
14312 N28623 X191.454 Z-7.008
14313 N28625 X193.783 Z-7.478
14314 N28627 X196.44 Z-8.034
14315 N28629 X199.093 Z-8.61
14316 N28631 X201.742 Z-9.208
14317 N28633 X204.055 Z-9.749
14318 N28635 X206.695 Z-10.386
14319 N28637 X209.329 Z-11.044
14320 N28639 X211.958 Z-11.722
14321 N28641 X214.254 Z-12.334
14322 N28643 X216.872 Z-13.052
14323 N28645 X219.485 Z-13.79
14324 N28647 X221.766 Z-14.454
14325 N28649 X224.367 Z-15.231
14326 N28651 X226.962 Z-16.029
14327 N28653 X229.551 Z-16.847
14328 N28655 X231.811 Z-17.581
14329 N28657 X234.387 Z-18.437
14330 N28659 X236.956 Z-19.314
14331 N28661 X239.519 Z-20.211
14332 N28663 X241.755 Z-21.014
14333 N28665 X244.303 Z-21.95
14334 N28667 X246.844 Z-22.905
14335 N28669 X249.061 Z-23.758
14336 N28671 X250.01 Z-24.129
14337 N28673 G2 X251.374 Z-23.198 I0.364 K0.931 F1000.
14338 N28675 G0 Z15.
14339
14340 N28677 M5
14341 N28679 M9
14342 N28681 G53 G0 Z0.
14343 N28683 G53 X0. Y0.
14344 N28685 M30
14345
14346 #

```

Rys. 4. Fragment g-kodu CNC do obróbki powierzchni wypukłej  
Fig. 4. Fragment G-code CNC machining convex surface

W celu dokładnego odwzorowania zaprogramowanych ścieżek toru narzędzia na powierzchni przedmiotu obrabianego, dokonano precyzyjnego ustalenia położenia narzędzia w przestrzeni obróbkowej za pomocą sondy pomiarowej (rys. 5).



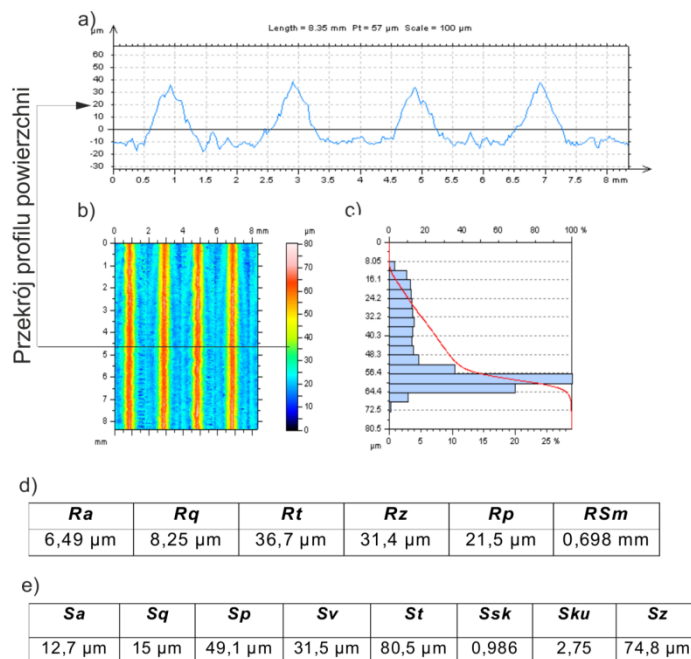
Rys. 5. Ustalenie punktu bazowego w osiach X i Y (funkcja G54): 1 – sonda pomiarowa, 2 – przedmiot mierzony  
 Fig. 5. Determining the base point in the X and Y axis (function G54): 1 – probe, 2 – workpiece

W wyniku wieloprzejsiowego procesu frezowania, ukształtowano próbki o powierzchni wypukłej i wklęsłej o założonych wymiarach konstrukcyjnych (rys. 6).



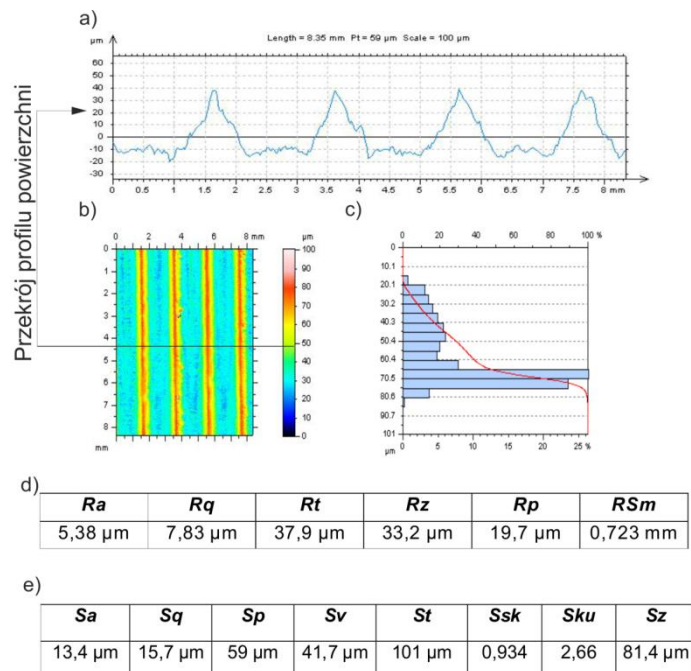
Rys. 6. Widok próbek po frezowaniu: a) próbka o powierzchni wypukłej, b) próbka o powierzchni wklęsłej  
 Fig. 6. View to the milling samples: a) sample of the convex surface, b) sample of the concave surface

Powierzchnie próbek charakteryzowały się rozwiniętą strukturą geometryczną, która jest wynikiem śladów obróbkowych pozostawionych przez wierzchołek frezu kulistego. Opracowując program obróbki CNC, w sposób celowy starano się tak dobrać głębokość skrawania, aby pozostawić wyraźne nierówności powierzchni, które są charakterystyczne dla frezowania kształtowego. Chciano sprawdzić, czy tego rodzaju strukturę powierzchni frezowanej będzie można usunąć i wygładzić w procesie szlifowania. Charakterystykę struktury geometrycznej powierzchni próbek obrobionych w procesie frezowania oraz parametry chropowatości przedstawiono na rys. 7 i 8.



Rys. 7. Charakterystyka struktury geometrycznej powierzchni wypukłej po obróbce frezowaniem na centrum obróbczym: a) profil chropowatości, b) mapa powierzchni, c) krzywa nośności, d) parametry profilu chropowatości, e) parametry chropowatości powierzchni

Fig. 7. Characteristics of the geometrical structure of the convex surface treated by milling machining center: a) the roughness profile, b) the surface of the maps, c) load curve, d) roughness profile parameters, e) parameters of surface roughness



Rys. 8. Charakterystyka struktury geometrycznej powierzchni wklęsłej po obróbce frezowaniem na centrum obróbczym: a) profil chropowatości, b) mapa powierzchni, c) krzywa nośności, d) parametry profilu chropowatości, e) parametry chropowatości powierzchni

Fig. 8. Characteristics of the geometric structure of the concave surface of the milling operations, the machining center: a) roughness profile, b) surface of the maps, c) load curve, d) roughness profile parameters, e) parameters of surface roughness

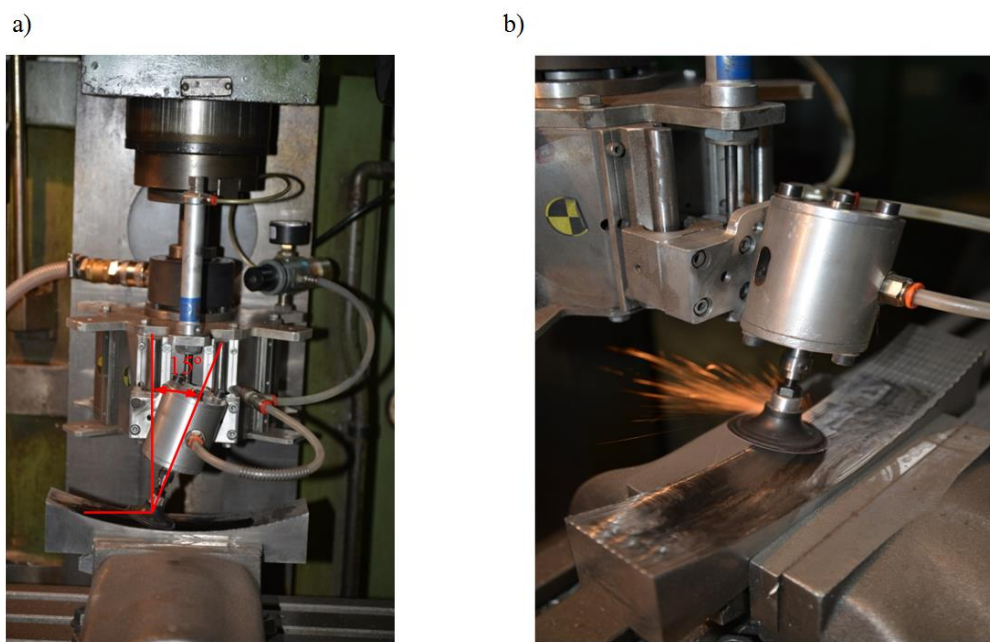
### 3. REALIZACJA I WYNIKI BADAŃ

Do wygładzania powierzchni zastosowano dwa rodzaje jednowarstwowych dysków ściernych z agregatami ściernymi Trizact™ o gradacji A100 i A6. Narzędzia o gradacji aglomeratu A100 zostały zastosowane do obróbki zgrubnej w celu nadania powierzchni, po frezowaniu, jednorodnej struktury geometrycznej. Następnie zastosowano dysk z aglomeratami Trizact™ o gradacji A6, przeznaczony do wygładzenia obrabianych powierzchni. Czas szlifowania każdym dyskiem wynosił 10 minut [1],[2],[3],[4],[5].

Zastosowano następujące parametry obróbki:

- kąt pochylenia wrzeciona  $\gamma = 15^\circ$ ,
- twardość podkładki Roloc™ 50° Sh,
- siła nacisku powierzchniowego siłownika pneumatycznego  $p_s = 0,1 \text{ N/mm}^2$ ,
- obwodowa prędkość wygładzania  $v_s = 72 \text{ m/s}$ ,
- prędkość posuwu stołu frezarki  $v_{ft} = 140 \text{ mm/min}$ .

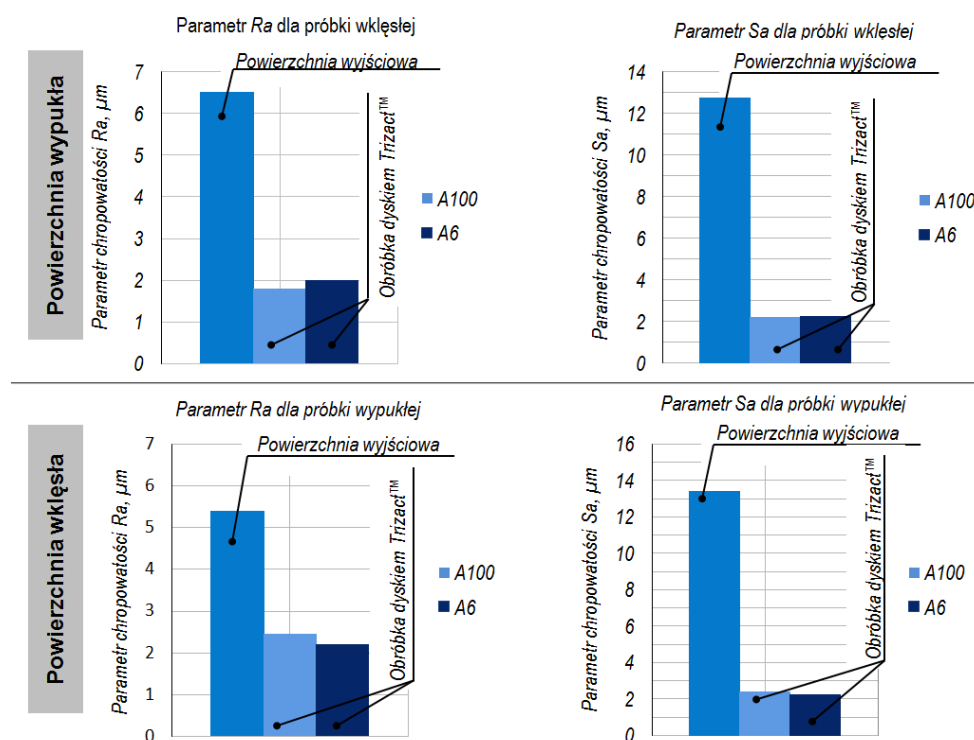
Proces szlifowania powierzchni o zmiennej krzywiznie przeprowadzono na frezarce pionowej typ FYF-32J z użyciem specjalnej głowicy o napędzie pneumatycznym (rys. 9).



Rys. 9. Stanowisko badawcze do realizacji procesu wygładzania powierzchni wklęsłej: a) strefa obróbki, b) proces wygładzania

Fig. 9. The test stand to the process of smoothing the concave surface: a) treatment zone, b) smoothing process

Na rys. 10 przedstawiono zbiorcze zestawienie wartości badanych parametrów struktury geometrycznej powierzchni po obróbce zgrubnej i wykończeniowej przygotowanych przedmiotów obrabianych. W celach porównawczych naniesiono też wartości tych parametrów po procesie frezowania.



Rys. 10. Wartość średnia z pięciu pomiarów chropowatości powierzchni wklęsłej oraz wypukłej po wygładzaniu dyskami ściernymi Trizact™ o zróżnicowanej gradacji: a) parametr  $Ra$ , b) parametr  $Sa$

Fig. 10. The average value of five measurements of surface roughness of concave and convex on the smoothing disks Trizact™ abrasive grit of varying: a) parameter  $Ra$ , b) parameter  $Sa$

#### 4. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy wyników zrealizowanych badań doświadczalnych można stwierdzić, że w przypadku wygładzania powierzchni wklęsłej, wartości parametru  $Ra$  po obróbce zgrubnej i wykończeniowej narzędziami Trizact™ zmniejszają się 2,5-krotnie w stosunku do stanu po procesie frezowania. Natomiast w odniesieniu do parametru  $Sa$ , jego wielkości po obróbce wstępnej dyskiem ściernym Trizact™ o gradacji A100 zmniejszają się ok. 6-krotnie, zaś po obróbce wykończeniowej dyskiem ściernym o gradacji aglomeratu ściernego A6 zmniejszają się 7-krotnie.

W przypadku wygładzania powierzchni wypukłej, zależność ta w przybliżeniu powtarza się w odniesieniu do parametru  $Ra$ . Jednak w przypadku parametru  $Sa$  obserwuje się mniejszą intensywność tych zmian. Wartość parametru  $Sa$  po obróbce wstępnej zmniejsza się mniej niż 2-krotnie, a w przypadku obróbki wykończeniowej ok. 2,5-krotnie w stosunku do stanu po frezowaniu.

Różnice uzyskane dla powierzchni wklęsłej i wypukłej są spowodowane wielkością powierzchni strefy styku narzędzia ściernego z powierzchnią obrabianą, a w konsekwencji odkrywaniem mikroziaren aktywnych kształtujących powierzchnię obrabianą. Wielkość powierzchni styku zależy od chwilowego położenia dysku w stosunku do powierzchni obrabianej oraz jej lokalnej krzywizny.

## LITERATURA

- [1] BARAN J., 2016, *Badanie procesu wygładzania powierzchni z zastosowaniem elastycznych jednowarstwowych dysków ściernych*, Praca doktorska, Politechnika Koszalińska.
- [2] BARAN J., PLICHTA J., 2012, Grinding and finishing sculptured surfaces using an innovative multitool head with independent pneumatic drive, *Journal of Machine Engineering*, 12/4, 7-14.
- [3] BARAN J., PLICHTA J., SUTOWSKI P., TANDECKA K., 2014, *Analiza wygładzania powierzchni za pomocą jednowarstwowych dysków ściernych Trizact™*, *Mechanik*, 9, 18-21.
- [4] BARAN J., RYPINA Ł., SUTOWSKI P., 2014, Budowa wielonarzędziowej głowicy szlifiersko-polerskiej oraz wyznaczenie charakterystyki technicznej wrzeciona napędowego za pomocą szybkościowej kamery PHANTOM v210, *Mechanik*, 8-9, 22-25.
- [5] BARAN J., RYPINA Ł., 2015, *Wygładzanie stali 304 dyskami ściernymi Trizact™ z wykorzystaniem wysokoobrotowego wrzeciona*, *Mechanik*, 8-9, 10-14.
- [6] BEAUCAMP A., NAMBA Y., 2014, *Novel Grinding Method for CVD Silicon Carbide*, *Proc. JSPE Spring Meeting*, 1245-1246.
- [7] BEAUCAMP A., NAMBA Y., MESSELINK W., WALKER D., CHARLTON P., FREEMAN R., 2014, *Surface integrity of fluid jet polished tungsten carbide*, *Procedia CIRP*, 13.
- [8] KAPŁONEK W., NADOLNY K., BARAN J., 2015, *Analiza rozpraszania światła na powierzchniach jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych z ziarnami ściernymi typu Trizact™*, *Mechanik*, 8-9, 185-189.
- [9] PSZCZOŁOWSKI W., PSZONKA A., 1996, *Badania rozpoznawcze nowej generacji narzędzi nasypowych w zastosowaniu do inżynierii powierzchni*. Raporty ITMiA serii Sprawozdania, 42/96.
- [10] ZABORSKI S., PSZCZOŁOWSKI W., KRYSIAK J., ŁUPAK M., 2004, *Szlifowanie taśmami z nasypem Trizact™*, XXVII Naukowa Szkoła Obróbki ściernej, Koszalin-Sarbinowo.

## GRINDING SURFACE OF VARIABLE CURVATURE OF THE ABRASIVE DISCS TRIZACT™

The article presents the possibilities of using innovative head grinding-polishing surface treatment of variable curvature. Shaped surfaces were machined on a 3-axis milling center HAAS ball cutter, then cut using a single layer of flexible abrasive discs Trizact™, grit agglomerate abrasive A100 and A6. The size of the abrasive microbeads employed to provide a homogeneous structure geometry. Greater gradation is used for roughing successively smaller gradation to smooth the surface profile of the workpiece vertices.

Keywords: *grinding, abrasive disc, Trizact™*