

Piotr Sender

# Wpływ trajektorii ziarna ściernego na obróbkę cienkościennych tulei cylindrów silników spalinowych przy gładzeniu ze zmienną kinematyką

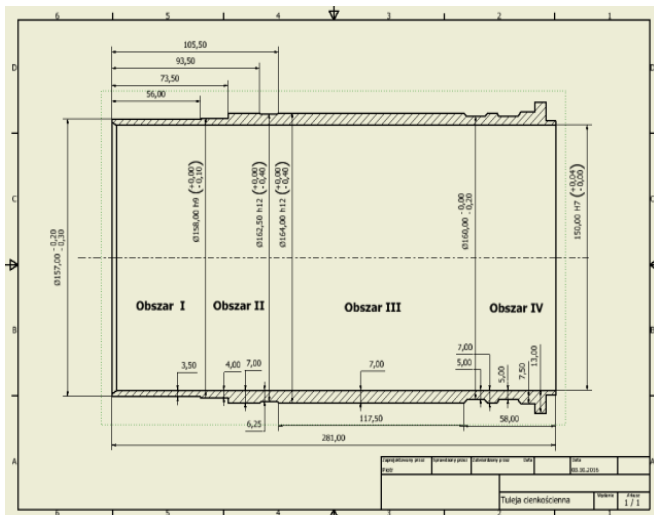
JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.468  
 Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

Gładzenie ze zmienną kinematyką posiada szereg zalet w porównaniu do tradycyjnego gładzenia [1-19], takie jak: mniejsze zużycie narzędzia [12, 13], niższa temperatura obróbki [13], lepsza jakość powierzchni [12, 13] oraz mniejsza odchyłka walцовości [13]. W artykule omówiono zalety zmiennej kinematyki gładzenia. Można założyć, że gładzenia ze zmienną kinematyką „VH” zostanie wdrożone wkrótce w przemyśle, np. w produkcji elementów składowych silników spalinowych.

**Słowa kluczowe:** gładzenie, zmienna kinematyka gładzenia, temperatura gładzenia,

## Wstęp

Gładzenie ze zmienną kinematyką „VH” posiada szereg zalet w porównaniu do gładzenia tradycyjnego „NH” [1-19], jak mniejsze zużycie narzędzia [12, 13], mniejsza temperaturę obróbki [13], lepsza jakość powierzchni obrabianej [12, 13] oraz mniejsza odchyłka walцовości [2, 13]. Artykuł omawia wpływ zmiennej kinematyki gładzenia „VH” na przebieg obróbki oraz wskazuje metodę poprawy efektywności seryjnej obróbki przedmiotów cienkościennych (rys.1).



**Rys. 1** Tuleja cienkościenna ze zmienną grubością ścianki (średnica otworu  $d=150H7$ , długość otworu  $L=281mm$ ).

Gładzenie „VH” ze zmienną kinematyką pozwala uzyskać różnorodne kształty kanałów smarnych na powierzchni obrabianego otworu [3,6,7,10-19]. Otrzymywana w procesie „VH” stosunkowo niska temperatura obróbki i przedmiotu obrabianego oraz mniejsza walцовość otworu są pożądane podczas produkcji części maszyn i urządzeń. Seryjną obróbkę przedmiotów cienkościennych, np. tulei cylindrów silników spalinowych (rys.1) oprócz wyposażenia honownicy w chłodnicę oleju [2] można zoptymalizować poprzez gładzenie „VH” ze zmienną kinematyką, która nie tylko obniża temperaturę generowaną w układzie Obrabiarka-Uchwyt-Przedmiot-Narzędzie ale

również wpływa na wzrost żywotności pary cierniej (np. pierścienie tłokowe – gładź cylindra w silniku spalinowym).

Wzrost żywotności spowodowany jest zmiennym kątem przecięcia się ścieżek olejowych na powierzchni obrabianego otworu [1].

## 1. Kinematyka gładzenia

Trajektoria ziarna na rozwiniętej powierzchni gładzonego otworu (rys. 2a) może przyjmować dowolny kształt (rys. 2b), np. prostoliniowy, krzywoliniowy oraz złożony z linii prostych i krzywych. Poszczególne trajektorie sąsiadujących kanałów olejowych mogą posiadać różne cechy geometryczne, np. kąt nachylenia ścieżki prostoliniowej, kąt nachylenia linii stycznej do ścieżki krzywoliniowej a także mogą charakteryzować się różnymi wartościami kątów linii stycznych do trajektorii krzywoliniowej ziarna dla dwóch sąsiadujących linii stycznych przyłożonych do punktów znajdujących się na krzywej odległych od siebie o tę samą wartość czasu trwania obróbki.

Kąt przecięcia rys „ $\alpha$ ” określa wartość kąta przecięcia prostoliniowej rysy olejowej na powierzchni obrabianej względem azymutalnego wektora prędkości „ $V_{az}$ ” (rys.2a).

$$\alpha = \arctg\left(\frac{v_{ax}}{v_{az}}\right) \quad (1)$$

W gładzeniu ze zmienną kinematyką równanie parametryczne ruchu ziarna (na rozwiniętej powierzchni otworu) przyjmuje nast. postać:

$$X = A \sin \omega_1 t + v_{az} t \quad (2)$$

$$Y = B \sin(\omega_2 t + \varphi_0) + v_{ax} t \quad (3)$$

gdzie:  $v_{az}$  – prędkość styczna głowicy [m/min]

$v_{ax}$  – prędkość osiowa narzędzia [m/min]

$t$  – czas gładzenia [s]

$A$  i  $B$  – wielkości amplitudy [m] trajektorii ziarna w kierunku „promieniowym „ $A$ ” i osiowym „ $B$ ” na rozwiniętej powierzchni gładzonego otworu (rys. 2a)

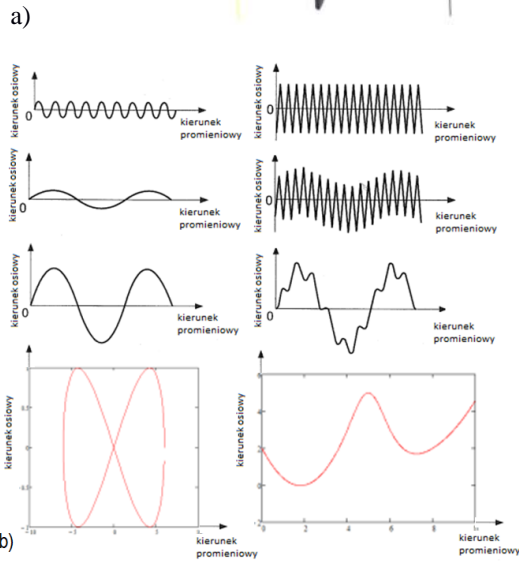
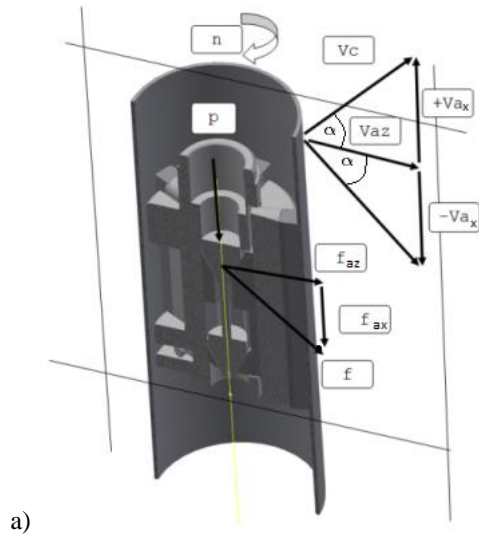
$\omega_1$  i  $\omega_2$  – częstotliwość [Hz] skoku głowicy w kierunku promieniowym  $\omega_1$  i osiowym  $\omega_2$

$\varphi_0$  - kąt przesunięcia fazowego

$X$  - kierunek promieniowy,  $Y$  - kierunek osiowy

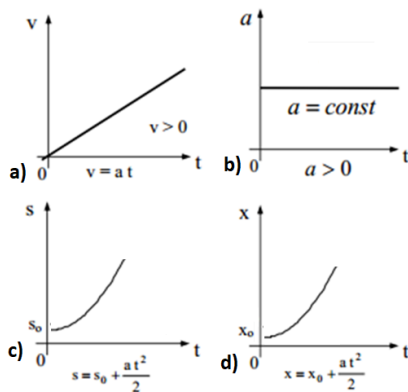
Zmienna kinematyka gładzenia „VH” umożliwia uzyskanie minimalnego przyrostu temperatury podczas gładzenia przedmiotu cienkościennego ze zmienną grubością ścianki (rys. 1) oraz na uzyskanie lepszej jakości powierzchni (rys. 18-20) a także mniejszej odchyłki walцовości [13].

Krzywoliniowa ścieżka ziarna, uzyskiwana w gładzeniu „VH”, oprócz różnej wartości kąta stycznej charakteryzować się także może zmiennymi wartościami krzywizny kanału olejowego, wielkości amplitudy w kierunku osiowym i promieniowym jak również gęstości rozmieszczenia ścieżek (rys.2b).



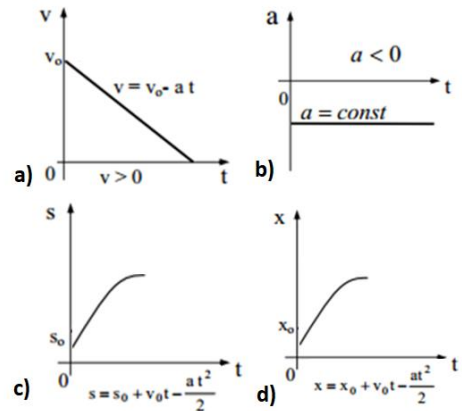
**Rys. 2** Głowica gładząca a) oraz przykładowe trajektorie „VH” ziarna ściernego na rozwiniętej powierzchni otworu b)

Na rysunku 3 pokazano wykres prędkości, drogi oraz przyspieszenia ziarna, względem czasu, ze stałą zmienną wartością przyspieszenia ( $a=const.$ ) w ruchu jednostajnie przyspieszonym (przyspieszenie o stałej wartości większej od zera).



**Rys. 3** Ruch „VH” jednostajnie przyspieszonym bez prędkości początkowej  $V_0 = 0$  a) prędkość ziarna, b) przyspieszenie, c) droga, d) położenie ziarna

Na rysunku 4 pokazano wykres prędkości, drogi oraz przyspieszenia, względem czasu, w ruchu jednostajnie opóźnionym (przyspieszenie o stałej wartości mniejszej od zera).



**Rys. 4** Trajektoria ruchu ziarna „VH” w ruchu jednostajnie opóźnionym a) prędkość ziarna, b) przyspieszenie, c) droga, d) położenie ziarna

Długość drogi (4) oraz położenie ziarna (5) zależnie od czasu obliczyć można za pomocą wzorów:

$$s(t) = s_0 + v_0t + \frac{at^2}{2} \quad (4)$$

$s(t)$  – droga przebyta w czasie  $t$  ruchem jednostajnie przyspieszonym

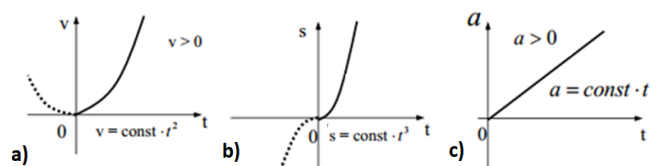
- $s_0$  – droga początkowa
- $v_0$  – szybkość początkowa
- $a$  – przyspieszenie

$$x(t) = x_0 + v_0t + \frac{at^2}{2} \quad (5)$$

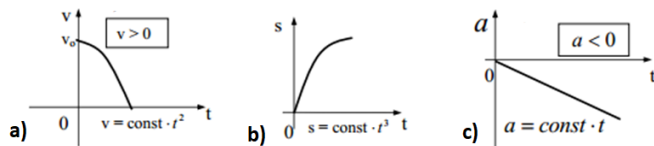
$x(t)$  – położenie ziarna w czasie trwania gładzenia

- $x_0$  – położenie początkowe
- $v_0$  – prędkość początkowa
- $t$  – czas

Poniższe rysunki przedstawiają zależność prędkości i długości drogi przebytej w czasie trwania ruchu ziarna, podczas gładzenia „VH” ze zmienną wartością przyspieszenia, zarówno w ruchu niejednostajnie przyspieszonym (rys.5) (przyspieszenie z wartościami większymi od zera) jak i w ruchu niejednostajnie opóźnionym (rys.6) (przyspieszenie z wartościami mniejszymi od zera).

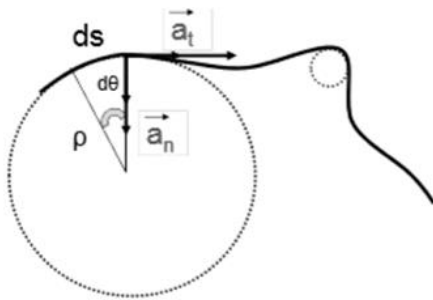


**Rys. 5** Trajektoria ruchu ziarna „VH” w ruchu niejednostajnie przyspieszonym: a) prędkość ziarna, b) droga, c) przyspieszenie

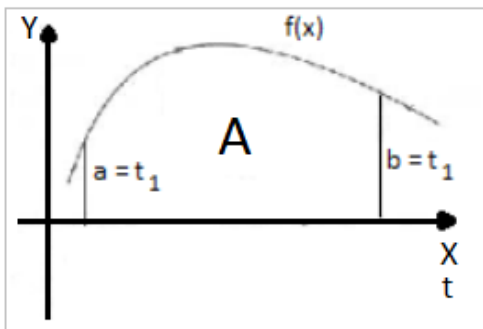


Rys. 6 Trajektoria ruchu ziarna „VH” w ruchu niejednostajnie opóźnionym: a) prędkość ziarna, b) droga, c) przyspieszenie

Aby uzyskać mniejszy promień krzywizny „ $\rho$ ” trajektorii ziarna „VH” ściernego (rys.7) należy użyć większych wartości przyspieszeń ruchu głowicy w kierunku promieniowym i osiowym.



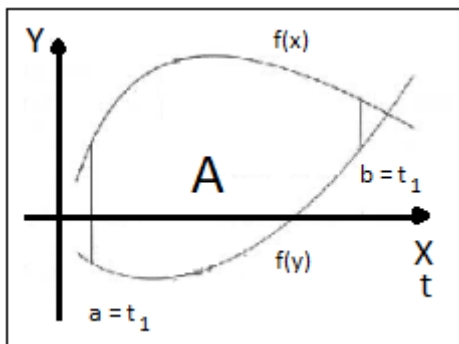
Rys. 7 Krzywizna ścieżki olejowej  $\rho = \frac{ds}{d\theta}$  - promień krzywizny;  $ds/d\theta$  – przyrost drogi względem przyrostu kąta,  $a_n$  - przyspieszenie normalne,  $a_t$  - przyspieszenie styczne



Rys. 8 Pole powierzchni pod krzywą trajektorii ziarna  $f(x)$  w przedziale czasu  $a$ - $b$  powstałej w procesie gładzenia „VH”

$$A = \int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) \quad (6)$$

gdzie:  $A$  – pole obszaru ograniczonego krzywymi  $y = f(x)$ ,  $y = g(x)$  i pionowymi liniami  $x = a$ ,  $x = b$ ,

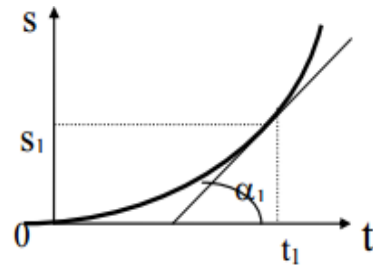


Rys. 9 Pole powierzchni  $A$  zawarte pomiędzy ścieżkami sąsiadujących kanałów smarnych  $f(x)$  i  $g(x)$  w przedziale czasu  $a$ - $b$  powstałymi podczas gładzenia „VH”

$$A = \int_a^b [f(x) - g(x)] dx \quad (7)$$

W zależności od wartości parametrów amplitudowych, częstotliwościowych, prędkości obrotowej i skoku głowicy ścieżka ziarna może uzyskać postać dowolnej krzywej.

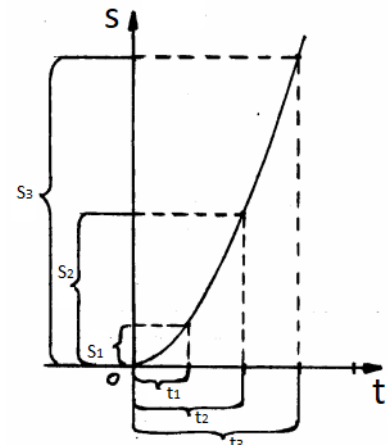
Poszczególne krzywe (trajektorie ziarna) mogą różnić się względem siebie kształtem. Poszczególne ścieżki mogą posiadać różne kąty nachylenia stycznych (rys. 10 i 11) w zależności od użytych parametrów obróbkowych.



Rys. 10 Styczna do krzywej trajektorii ziarna.

Z wykresu drogi  $s(t)$  (rys. 10) można odczytać wartość prędkości ruchu ziarna w dowolnym czasie  $t_1$ ,  $t_2$  itd. w funkcji tangens kąta nachylenia stycznej do wykresu w dowolnym czasie  $t$  (8).

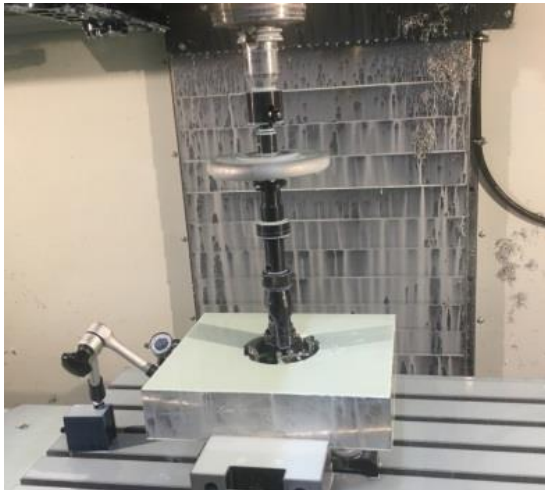
$$v(t_1) = tg \alpha \quad (8)$$



Rys. 11 Przyrost długości drogi w zależności od czasu  $t$

## 2.Badania eksperymentalne

Badania eksperymentalne prowadzono na frezarce CNC HAAS VF 3SS ze sterowaniem Fanuc 32i-B (rys. 13) uzbrojoną w oprzyrządowaniem do gładzenia f-my Honingtec (rys. 12)

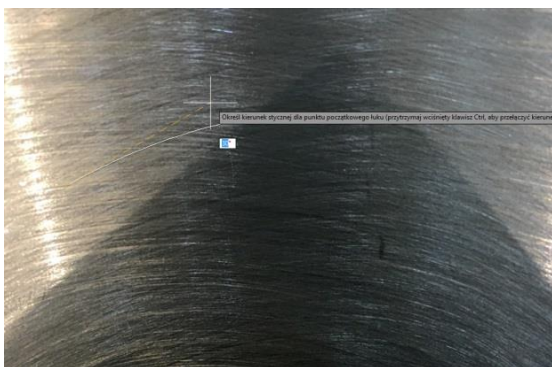


Rys. 12 Oprzyrządowanie do gładzenia f-my Honingtec



Rys. 13 Frezarka CNC HAAS VF 3SS ze sterowaniem Fanuc z oprzyrządowaniem do gładzenia f-my Honingtec

Na poniższych rysunkach zaprezentowano uzyskaną powierzchnię cylindra gładzonego ze stałą (rys.14) i zmienną wartością posuwu (rys.15) głowicy w kierunku osiowym przedmiotu. Zmiana prędkości skoku głowicy następowała w trakcie trwania skoku roboczego, co oznacza że gładzenie przeprowadzano ze zmienną kinematyką „VH”.



Rys. 14 Uzyskana tekstura powierzchni gładzonej „NH” dla stałej prędkości skoku głowicy F5000 (nachylenie stycznej do kanału olejowego 30° względem wektora Vaz)

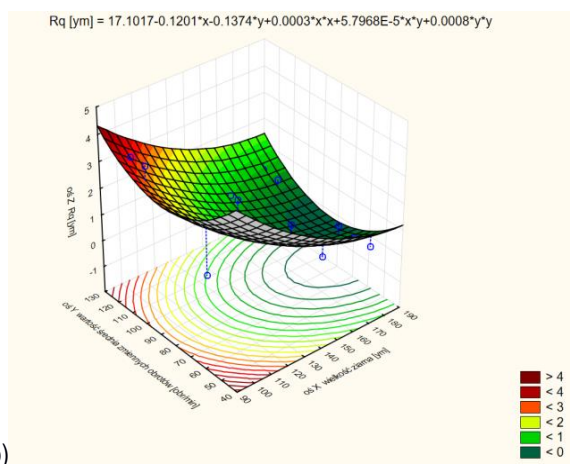
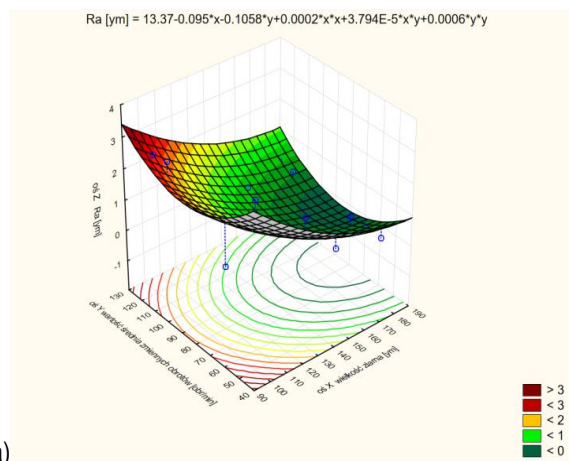


Rys. 15 Uzyskana tekstura powierzchni gładzonej „VH” dla zmiennej prędkości skoku F1000 – F3000 (nachylenie stycznej do kanału olejowego 15° względem wektora prędkości Vaz)

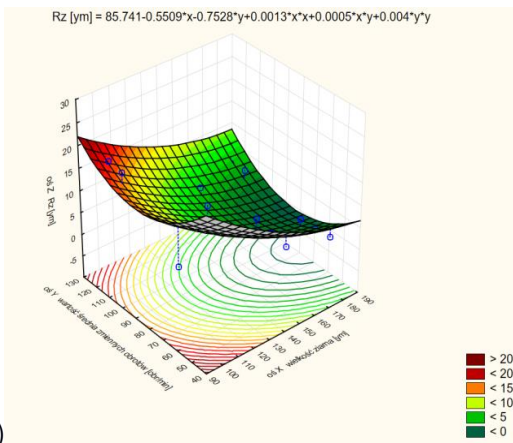
Wykonano szereg doświadczeń gładzenia ze zmiennym posuwem oraz ze zmienną ilością obrotów głowicy, sprawdzono wpływ poszczególnych zmian parametrów na przebieg procesu.

Proces gładzenia prowadzono ze stałą zmianą ilości obrotów głowicy w trakcie trwania skoku, co oznacza że uzyskiwana ścieżka ziarna i rysy służące do transportu oleju nie uzyskiwały kształtu linii prostej nawiniętej na walec (jak przy gładzeniu tradycyjnym) a krzywej ze stałym przyspieszeniem ( $a > 0$ ) i ze stałym opóźnieniem ( $a < 0$ ).

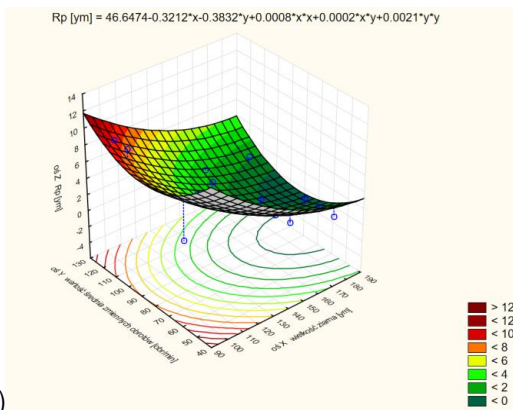
Na rys. 16-18 zestawiono przykładowe dane uzyskanych parametrów profilu chropowatości dla gładzenia przeprowadzonego ze zmienną prędkością roboczą głowicy.



Rys. 16 Wykres zależności parametru Ra a) i Rq b) względem zmiennych obrotów dla różnych wielkości ziarna; oś pionowa – parametr Rq, oś horyzontalna po lewej stronie – średnia wartość zmiennych obrotów, oś horyzontalna po prawej stronie – gramatura ziarna

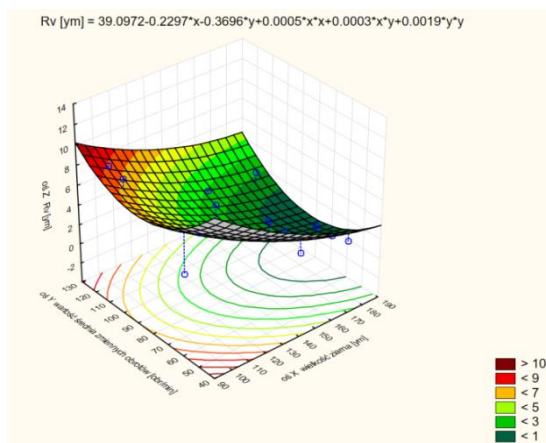


a)



b)

**Rys. 17** Wykres zależności parametru Rz a) i Rp b) względem zmiennych obrotów dla różnych wielkości ziarna; oś pionowa – parametr Rz, oś horyzontalna po lewej stronie – średnia wartość zmiennych obrotów, oś horyzontalna po prawej stronie – gramatura ziarna



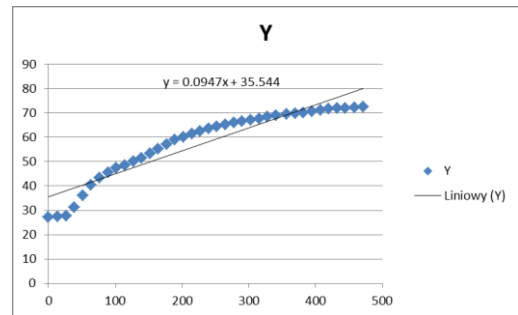
**Rys. 18** Wykres zależności parametru Rv względem zmiennych obrotów dla różnych wielkości ziarna; oś pionowa – parametr Rv, oś horyzontalna po lewej stronie – średnia wartość zmiennych obrotów, oś horyzontalna po prawej stronie – gramatura ziarna

Najlepszy rezultat (minimalna wartość wybranych parametrów profilu chropowatości) uzyskano dla średniej zmiany obrotów 80-100 obr/min w trakcie trwania skoku roboczego (rys. 16, 17).

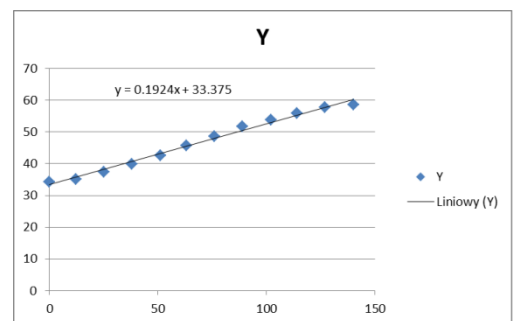
Poniżej zaprezentowano wybrane wykresy linii trendu uzyskane z danych pomiarowych serii badań procesu gładzenia „VH” przeprowadzanych z różnymi wartościami prędkości obrotowej. Im większy kąt pochylenia linii trendu (mierzony od osi odciętych) tym większe tempo wzrostu temperatury gładzonego przedmiotu w trakcie ob-

róbki. Zaobserwowano, że wyższe obroty generują wyższą temperaturę gładzonego przedmiotu (rys. 22) oraz znacząco szybsze zużycie ośki.

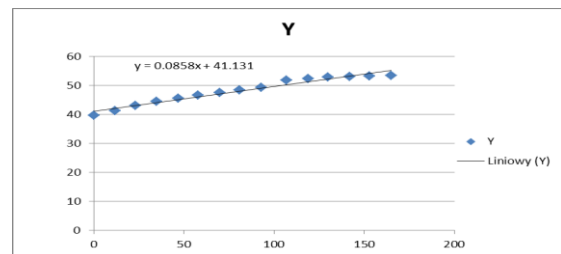
Zalecanym sposobem gładzenia „VH” jest obróbka ze zmiennymi wartościami ilości obrotów głowicy, dla mniejszych wartości średnich obrotów, z większym zakresem zmian obrotów (rys.21)



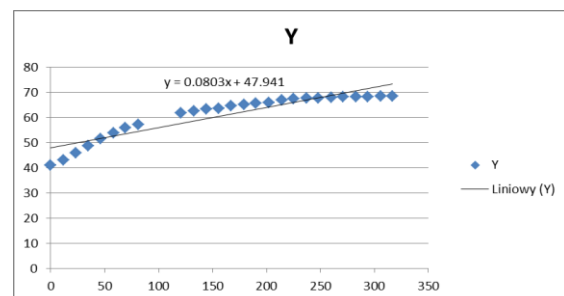
**Rys. 19** Stałe obroty 80 obr/min, p=0,5MPa



**Rys. 20** Stałe obroty 100 obr/min, docisk ośki do powierzchni gładzonej p=0,5 MPa



**Rys. 21** Zmiana obrotów w zakresie 40-80 obr/min, docisk ośki do powierzchni gładzonej p=0,5 MPa



**Rys. 22** Zmiana obrotów w zakresie 100-120 obr/min, docisk ośki do powierzchni gładzonej p=0,5 MPa

Z rysunków 19 - 22 można obliczyć kąt nachylenia stycznej do linii trendu [13] i kolejno można porównać ze sobą kąt stycznej do trajektorii ziarna (rys.10) i kąt linii trendu przyrostu temperatury (rys.19-22).

Badanie wpływu kształtu trajektorii ziarna na temperaturę obróbki prowadzono na honownicy hydraulicznej HTH WMW SZS 200. Honownica hydrauliczna (rys.23 i 24) umożliwiała dowolne wprowadzanie zmian parametrów obróbkowych w trakcie trwania skoku roboczego.

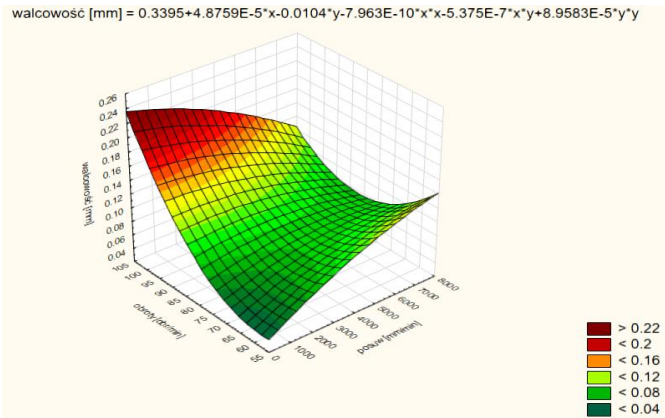


Rys. 23 Stanowisko badawcze: honownica konwencjonalna hydrauliczna WMW SZS 200

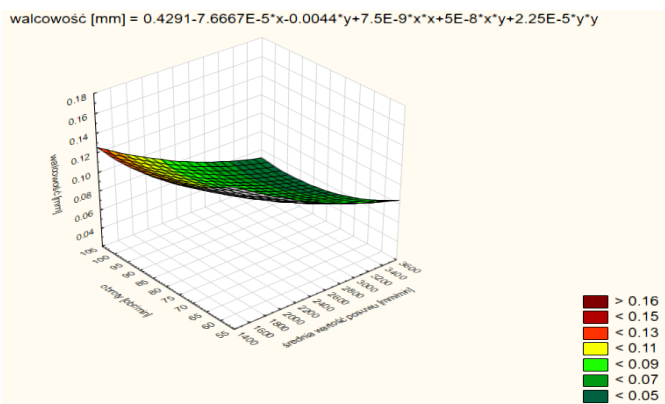


Rys. 24 Stanowisko badawcze: honownica konwencjonalna hydrauliczna z kamerą termograficzną Vigocam (poz.1)

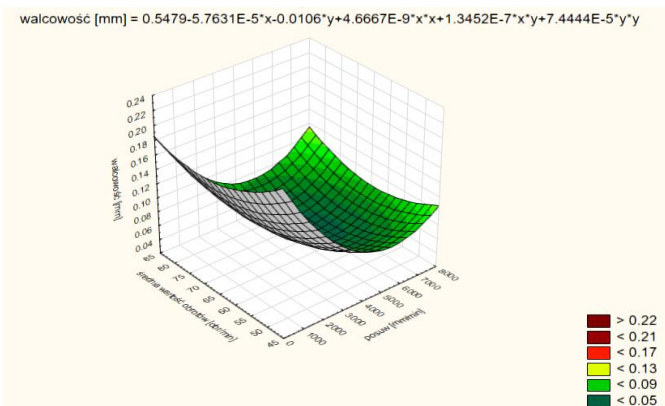
Na poniższych rys. 25-27 pokazano wpływ kinematyki „NH” i „VH” na uzyskiwaną walцовość gładzonego otworu.



Rys. 25 Wykres walцовości (os pionowa) otworu dla stałych parametrów obróbkowych przy gładzeniu „NH”, os horyzontalna po lewej stronie – stała wartość obrotów głowicy, os horyzontalna po prawej stronie – stała wartość posuwu głowicy



Rys. 26 Wykres walцовości (os pionowa) otworu po gładzeniu „VH” dla zmiennej wartości posuwu roboczego głowicy (prawa os), os horyzontalna po lewej stronie – stała wartość obrotów głowicy, os horyzontalna po prawej stronie – zmienna wartość posuwu głowicy



Rys. 27 Wykres walцовości (os pionowa) otworu po gładzeniu „VH” dla zmiennej ilości obrotów głowicy, os horyzontalna po lewej stronie – zmienna wartość obrotów głowicy, os horyzontalna po prawej stronie – zmienna wartość posuwu głowicy

### Podsumowanie

Przyrosty temperatury przedmiotów gładzonych „VH”, dla różnych zakresów zmian ilości obr/min głowicy przedstawiają się w następujący sposób:

VH T 100-120 < VH T 100-140 < VH T 100-160 < VH T 100-200  
 VH T 20-80 < VH T 40-80 < VH T 60-80

Przy gładzeniu, dla gładzenia „NH”, ze stałymi parametrami przyrost temperatury gładzonych przedmiotów jest następujący:

## NH T 60 < NH T 80 < NH T 100

gdzie: „VH T 100-120” - oznacza wielkość przyrostu temperatury układu dla gładzenia przeprowadzanego ze zmienną kinematyką „VH”, z obrotami głowicy w zakresie od 100-120 obr/min itd.

„NH T 20-80” - oznacza wielkość przyrostu temperatury układu dla gładzenia przeprowadzanego ze stałą kinematyką „NH”, ze stałą wartością obrotów głowicy.

Zarówno na frezarce CNC, jak również na honownicy hydraulicznej, uzyskano trajektorię ziarna zbliżoną do krzywej schodkowej zaprezentowanej na rys.24.

Ze względu na bezwładność i sztywność narzędzia zamontowanego we frezarce CNC (wykluczającą możliwość zadawania maksymalnie szybkich zmian wartości parametrów roboczych – czyli maksymalnych wartości przyspieszeń) jak również na brak możliwości jednoczesnej zmiany wartości prędkości skoku i ilości obrotów głowicy na honownicy hydraulicznej w trakcie trwania obróbki (podczas badaniach prowadzących bez asystenta, ze względu na miejsce posadowienia pokręteł sterujących prędkościami skoku i obrotu) uzyskana krzywa nie mogła przyjąć dowolnego kształtu (rys.1b) a kształt krzywej schodkowej (rys.24).

Trajektoria ziarna ściernego (rys.24) to dobra alternatywa dla tradycyjnej kinematyki gładzenia „NH” wytwarzającej siatkę złożoną z rys olejowych prostoliniowych. Zmiana ilości obrotów zapewnia dobrą jakość powierzchni obrabianej (rys.16-18) oraz korzystne zmniejszenie temperatury układu O-U-P-N (obrabiarka-uchwyt-przedmiot-narzędzie).



**Rys. 28** Trajektorie ziarna ściernego uzyskiwana w trakcie gładzenia „VH” ze zmienną kinematyką

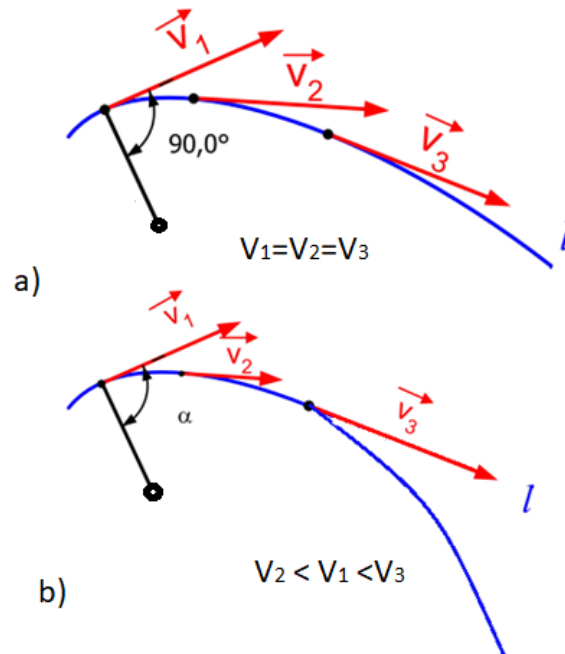
Podczas przyrostu ilości obrotów głowicy przy zachowaniu stałej prędkości skoku kąt stycznej do trajektorii ziarna maleje (rys.24, v.1) a temperatura obróbki rośnie.

Podczas zmniejszania ilości obrotów głowicy przy zachowaniu stałej prędkości skoku, lub wraz ze zmniejszaniem prędkości skoku, kąt stycznej do trajektorii ziarna maleje (rys.24, v.2) a temperatura obróbki maleje.

Podczas zwiększania wartości skoku głowicy przy zachowaniu ilości obrotów, lub wraz ze zmniejszaniem ilości obrotów głowicy, kąt stycznej do trajektorii ziarna rośnie (rys.24, v.1).

Analiza rys.21-29 wykazała, że dla gładzenia „VH” przeprowadzanego ze zmienną kinematyką występuje mniejszy przyrost temperatury gładzonego przedmiotu niż dla stałej kinematyki procesu „NH”.

Przyspieszenie ziarna może mieć wartość stałą, jednostajnie zmienną lub niejednostajnie zmienną. Badania eksperymentalne wykazały zalety gładzenia „VH” i w kolejnych pracach badawczo-poznajawczych można zweryfikować wpływ konfiguracji poszczególnych konfiguracji prędkości i przyspieszeń dla ruchu ziarna skrawającego i jego wpływ na przebieg procesu gładzenia.



**Rys. 29** Trajektorie krzywoliniowego ruchu ziarna dla prędkości chwilowych o równych a) i różnych b) wartościach prędkości chwilowych

Główny problem obróbki cienkościennych przedmiotów ze zmienną grubością ścianki, polegający na deformacji termicznej wskutek nagrzewania się przedmiotu obrabianego, można wyeliminować poprzez prowadzenie gładzenia ze zmienną kinematyką „VH”. Gładzenie „VH” oprócz niższych wartości temperatury obróbki umożliwia również na otrzymanie lepszej jakości powierzchni otworu oraz na uzyskanie mniejszej odchyłki walcowości gładzonego otworu.

Dalsze badania procesu gładzenia „VH” prowadzonego na cylindrach silników spalinowych, kolejno weryfikowane na hamowni, mogą wnieść nowe wytyczne do produkcji silników spalinowych ze względu na poprawę jakości i wydłużenie żywotności elementów współpracujących.

### Bibliografia:

- Babiczew A.P., Poljanichikov Ju.I., Slavin A.V. (2013): Gładzenie. Министерство образования и науки Российской Федерации. Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т; Донской гос. техн. ун-т. – Волгоград.
- Barylski A., Sender P. (2014): Badania przyrostów średnic i temperatury przedmiotów podczas gładzenia długich otworów w warunkach produkcyjnych. w: Mechanik 9, s. 34–43. <http://www.mechanik.media.pl/artykuly/badania-przyrostow-srednic-i-temperatury-przedmiotowpodczas-gladzenia-dlugich-otworow-w-warunkach-produkcyjnych1.html>
- Gashev E.A., Muratov K.R. (2014): Tool Motion in the Honing of Cylindrical Surfaces. w: Russian Engineering Research 34 (4), s. 268–271. DOI: 10.3103/S1068798X14040078.
- Jocsak J.: The effects of surface finish on piston ring-pack performance in advanced reciprocating engine Systems. Mechanical Engineering Queen's University at Kingston, Massachusetts Institute of Technology.

5. Johansson S., Nilsson P.H., Ohlsson R., Anderberg C., Rosen B.G. (2008): New cylinder liner surfaces for low oil consumption. w: *Tribology International* 41 (9-10), s. 854–859. DOI: 10.1016/j.triboint.2008.02.012.
6. Khanov A.M., Muratov K.R., Gashev E.A., Muratov R.A.: Kinematic Potential of Honing Machines. w: *Russian Engineering Research*, 2011, Vol. 31, No. 6, 2011 (ISSN 1068798X), s. 607–609. DOI: 10.3103/S1068798X11060104.
7. Khanov A.M., Muratov K.R., Gaszew E.A., Pepelyszewie A.V. (2011): Kinematyka metod gladzenia. *Rosyjska Akademia Nauk* 13 (4).
8. Knoll G., Rienacker A.: *Tribology in Automotive Engine Applications*. Institute for Machine Elements and Design, University Kasel.
9. Muratov K.R., Gashev E.A. (2014): Methods of precision hole honing. w: 1Perm national research polytechnic university, Russia, (УДК 620. 923).
10. Podgaetski M., Scherbina K. (2015): Kinematics of cutting holes in honing spiral spring hone (ISSN 2409-9392).
11. Podgaetski M.M., Sczerbina K.K.: УТВОРЕННЯ СКЛАДНОЇ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ЗЕРНА ПРИ ХОНІНГУВАННІ ОТВОРІВ. w: Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна (УДК 621.923.5).
12. Polyanchikov Yu. N., Plotniko A.L., Polyanchikova M.Yu., Kursin O.A., Leshukov A.V.: Honing with Increase in the Cutting Speed (ISSN 1068-798X,). DOI: 10.3103/S1068798X08070228.
13. Sender P. (2018): Variable kinematics of honing process - influence on machined workpiece. "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2018, 18-22 September 2018, Karlovy Vary, Czech Republic; <https://www.tmt.unze.ba/proceedings2018.php>
14. Yousfi M. (2014): Tribofunctional study of low-friction engine liner textures generated by honing process, dostępne na stronie internetowej: <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01148194>.
15. Yousfi M., Mezghani S., Demirci I., El Mansori M. (2014): Mutual Effect of Groove Size and Anisotropy of Cylinder Liner Honed Textures on Engine Performances. w: AMR 966-967, s. 175–183.
16. Yousfi M., Mezghani S., Demirci I., El Mansori M. (red.) (2016): Texturation mécanique antifriction par rodage du tribo-système segment-cylindre. Présentation du projet d'acquisition d'un tribosimulateur du fonctionnement moteur. 28 Journées Internationales Francophones de Tribologie. Ecole Nationale d'Ingenieurs de Saint-Etienne.
17. Yousfi M., Mezghani S., Demirci I., Mansori E.M. (2015): Generation of circular and elliptic low-friction texture patterns by honing process. Yousfi M., Mezghani S., Demirci I., El Mansori M., 2015.
18. Yousfi M., Mezghani S., I. Demirci L., Mansori E.M. (2016): Tribological performances of elliptic and circular texture patterns produced by innovative honing process. w: *Tribology International*. DOI: 10.1016/j.triboint.2016.01.049i.
19. Zhang Y., Yang Y., Niu J., Gong J. (red.): Study on the Impact of Honing Machine Reciprocating Reversing Acceleration upon Reticulate Pattern Trajectory.

---

**Influence of the abrasive grain trajectory on the machining of thin-walled cylinder liners of internal combustion engines with variable kinematics of honing**

Honing with variable kinematics has a number of advantages in comparison to traditional honing [1-19], such as less tool wear [12, 13], lower processing temperature [13], better surface quality [12, 13] and less deviation of cylindricity [13]. The article discusses the influence of the variable kinematics on the machining process

---

**Keywords:** honing, variable kinematics, temperature when honing holes

**Autorzy:**

mgr inż. **Piotr Sender** – Politechnika Gdańska