

# **POMIARY TEMPERATURY PODCZAS GŁADZENIA DŁUGICH OTWORÓW**

Adam BARYLSKI <sup>1</sup>

## **1. WSTĘP**

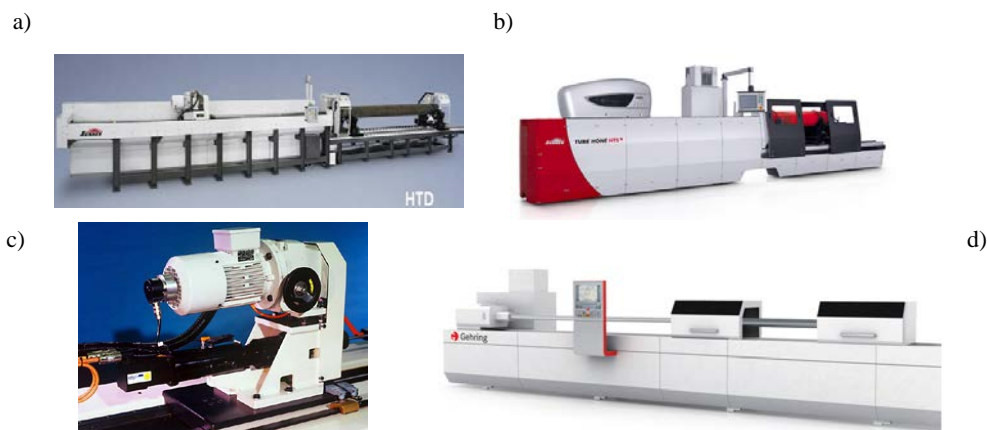
Współcześnie, jedną z podstawowych metod ścierniej obróbki bardzo dokładnej jest gładzenie. Metoda ta wykorzystywana jest głównie do obróbki otworów walcowych o zróżnicowanych długościach, w tym o małych średnicach [1]; umożliwia też kształtowanie wykończeniowe powierzchni płaskich [11], krzywoliniowych [7] i uzębień [24]. Prowadzone są w tym zakresie w wielu ośrodkach naukowych badania doświadczalne, jak również nieliczne próby bezpośrednio w warunkach produkcyjnych [2]. Wynikiem gładzenia jest powierzchnia o małej chropowatości i dużej nośności, zaś stawiane przez konstruktorów maszyn wymagania dotyczą również dokładności kształtu i wymiaru. Realizowane badania dotyczą zarówno obróbki elementów metalowych [26], jak i ceramicznych [4,32] i obejmują m.in. optymalizację procesu gładzenia [29, 30], analizę mechanizmów występujących w strefie obróbki [20-22, 27, 33], intensywności oddziaływania ziaren ściernych z materiałem obrabianym [28], symulację i modelowanie mikrostruktury geometrycznej powierzchni po gładzeniu [3, 5, 12, 18, 19] – w tym głównie chropowatości i nośności powierzchni [6], modelowanie kinematyki gładzenia [35], modelowanie procesu przy użyciu sztucznych sieci neuronowych [25], badania wydajności i dokładności obróbki [10, 34] oraz dobór technologii gładzenia [31], również z wykorzystaniem ultradźwięków [9, 36].

Stosowane względnie małe prędkości gładzenia (ruchu obrotowego i posuwowego głowicy) i nominalne naciski powierzchniowe oselek oraz dostatecznie obfite i ciągle dawkowanie cieczy obróbkowej sprzyjają warunkom uniknięcia niepożądanym naprężeniom rozciągającym w warstwie wierzchniej przedmiotu.

---

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: [abarylsk@pg.gda.pl](mailto:abarylsk@pg.gda.pl)

Gładzenie otworów długich jest obecnie możliwe na obrabiarkach poziomych, produkowanych seryjnie przez czołowe firmy, np. Sunnen [15] i Gehring) [13]. Tradycyjnie, bogatą ofertę honownic z pojedynczym wrzecionem lub multi układem wrzecion pionowych do otworów krótszych proponuje też firma Kadia [14]. Przykłady obrabiarek do gładzenia otworów w układzie poziomym pokazano na rys.1.

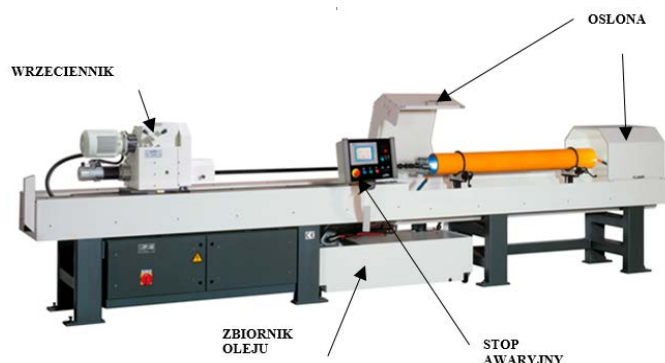


Rys. 1. Przykłady honownic poziomych: a) typu HTD (średnica głowicy powyżej 400 mm, wydajność 2000-3000cm<sup>3</sup>/h, obrabiarka wyposażona w układ filtrowania i chłodzenia oleju), b) typu HTS (budowa modułowa, wydajność gładzenia 700-1500 cm<sup>3</sup>/h), c) typu HTC-2120 (sterowanie CNC, gładzenie otworów o małej średnicy) firmy Sunnen [15], d) typu Deephone (napęd o mocy 9 kW, mocowanie przedmiotów o średnicy do 360 mm – na indywidualne zamówienie do 1200 mm, filtr magnetyczny i układ chłodzenia oleju) firmy Gehring [13]

W procesie gładzenia mechanicznego, w wyniku ruchowej współpracy oselek głowicy z materiałem obrabianym w obecności płynu następuje wzrost temperatury kształtowanego przedmiotu [8]. Jak wykazały własne badania wstępne [2], faktu tego nie należy pomijać chcąc uzyskać wysoką dokładność wymiarowo-kształtową, a także planując miejsce kontroli jakości w procesie technologicznym. Zmiana średnicy otworu jest wynikiem nie tylko procesu skrawania, ale i chwilowej temperatury przedmiotu. Problem ten ilustrują prezentowane poniżej wyniki pomiarów.

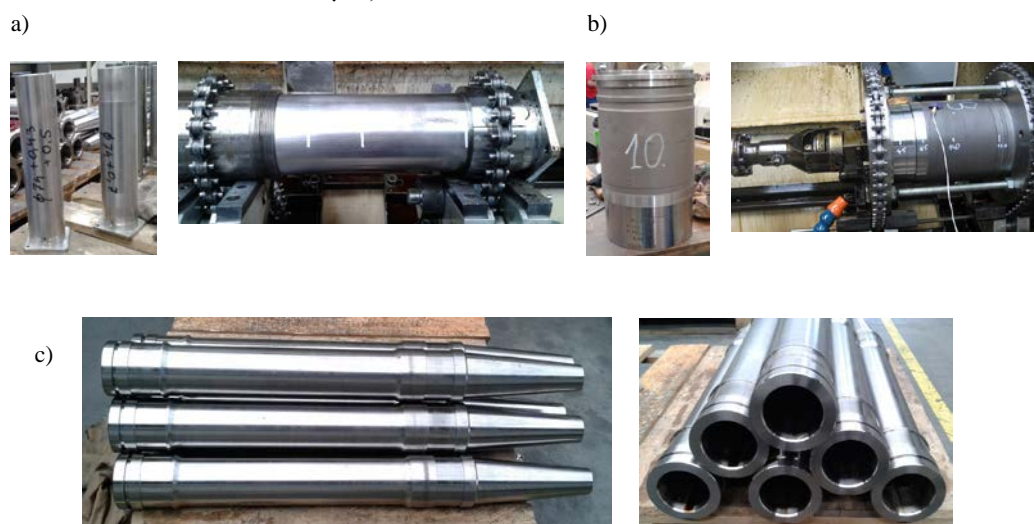
## 2. WARUNKI I WYNIKI BADAŃ

Pomiary temperatury gładzonych przedmiotów przeprowadzono podczas obróbki otworów na honownicy poziomej HTH 4000S (rys.2).



Rys. 2. Honownica pozioma HTH 4000S ze sterowaniem CNC firmy Sunnen [16]

Wykorzystano w tym celu kamerę termowizyjną VIGOcam v50, usytuowaną w odległości 2,5 m od honownicy. Gładzono otwory (rys.3) o średnicy 75H7 i 75H10 (tuleje ze stali 34CrNiMo6, 34-38 HRC) i 150H7 mm w tulejach ze stali 38HMJ (po szlifowaniu,  $R_a=0,11-0,32 \mu\text{m}$ ).



Rys. 3. Elementy obrabiane: a) o średnicy otworu 75H7 mm, b) o średnicy otworu 150H7 i długości 201 mm, c) o średnicy otwory 75H10 i długości 937 mm ( $R_a=1,25\mu\text{m}$ )

Oprócz temperatury początkowej i maksymalnej przedmiotu mierzono ubytek liniowy na średnicy gładzonego otworu oraz wyrywkowo chropowatość powierzchni [17]. Przykładowe wyniki pomiarów podano w tab.1.

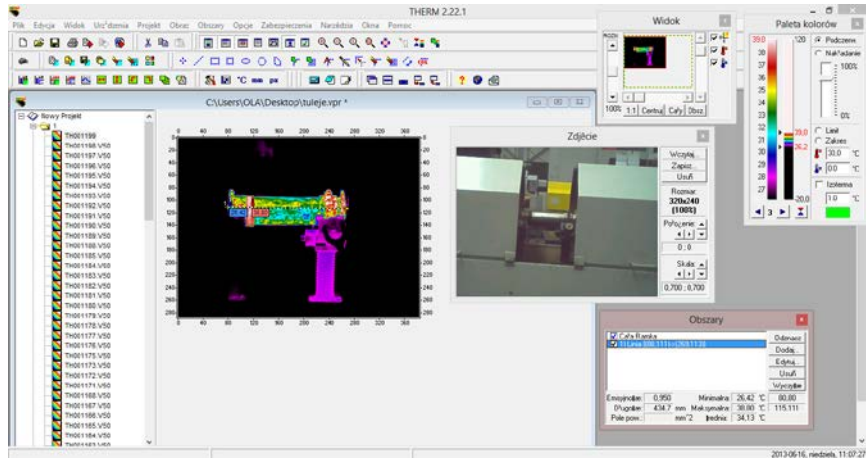
Na rys.4. przedstawiono wybrany zrzut ekranu monitora otrzymany w przypadku badań gładzonego otworu o średnicy 75H7 mm, zaś na rys.5 ilustrację zmian temperatury.

Tab.1. Wyniki gładzenia otworów o średnicy 75H7 mm

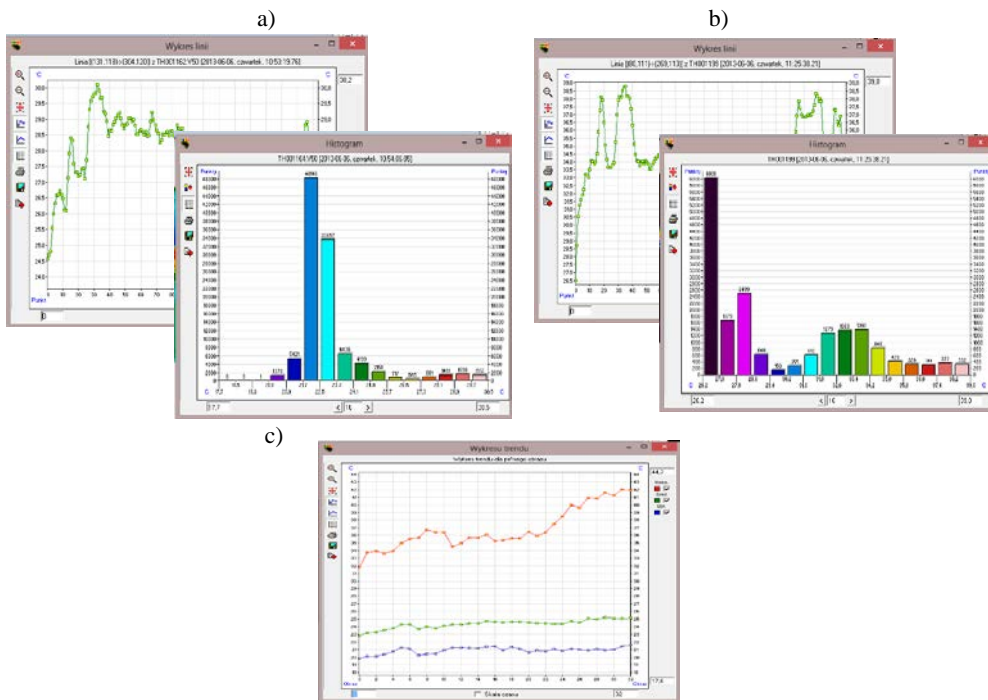
Przedmiot	Cykl	Czas [min]	Prędkość skoku [m/min]	Obciążenie wrzeczona [%]	Temperatura [°C]			Średnica	Ubytek	Osełki
					T <sub>o</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>otocz</sub>			
Tuleja I	I	6	19	15	23,73	30,11	25,3	74,85	-	H70J87
	II	4	19	12	24,62	33,12	25,3	74,92	0,07	H70J88
	III	2,5	19	17	24,7	33,84	25,3	75	0,15	H70J89
	IV	1	19	14	25,5	31,9	25,2	75	0,15	H70J90
	V	2	19	10	25,6	33,83	25,2	75,015	0,165	H70J91
	VI	2,5	19	10	26,5	34,68	25,1	75,015	0,165	H70J92
	VII	3	19	10	26,58	35,44	25,2	75,015	0,165	H70J93
	VIII	3	19	10	27,2	35,6	25,2	75,025	0,175	H70J94
	IX	3	19	10	27,6	26,67	25,2	75,03	0,18	H70J95
	X	3	19	10	28,76	38,38	25,2	75,04	0,19	H70J96
Tuleja II	I	5	19	5-25	23,32	27,57	25,4	74,7	-	H70NM57XM84
	II	2	19	5-25	23,4	27,86	25,8	74,84	0,14	H70NM57XM85
	III	6	19	16	23,82	28,89	26	74,91	0,21	H70J87
	IV	6	19	18	24,12	29,75	26,2	74,94	0,24	H70J88
	V	1	19	14	24,5	32,87	26,4	74,95	0,25	H70NM57XM84
	VI	1,5	19	15	24,53	33,27	26,5	74,97	0,27	H70NM57XM85
	VII	1,5	19	15	25,07	34,3	26,5	75	0,3	H50J67
	VIII	2	19	14	24,23	32,3	26,6	75,01	0,31	H50J68
	IX	2	19	14	25,34	34,38	26,8	75,01	0,31	H50J69
	X	2	19	11	26,28	35,41	26,8	75,02	0,32	H50J70
Tuleja III	I	6	19	16	23,9	27,86	27,2	74,63	-	H70NM57XM84
	II	6	19	16	24,23	28,86	27,4	74,67	0,04	H50J70
	III	6	19	16	24,62	29,06	27,7	74,8	0,17	H70NM57XM84
	IV	4	19	16	24,9	29,75	27,9	74,82	0,19	H70J87
	V	3,5	19	16	25,12	32,87	28,3	74,9	0,27	H70NM57XM84
	VI	4	19	17	24,83	33,27	28,4	74,92	0,29	H70J87
	VII	3	19	17	25,06	34,3	28,4	75,01	0,38	H70NM57XM84
	VIII	2	19	12	25,72	34,31	28,4	75,03	0,4	H70J87

Przykładowe obrazy temperatury gładzonego otworu o średnicy 150 H7 podano na rys.6 i 7. W wykonanych badaniach otrzymano zakresy temperatury początkowej mieszczącej się w przedziałach: 24,06-26,39°C (początek obróbki tulei z otworem o średnicy 75H10), 23,32-23,9°C (początek obróbki tulei z otworem o średnicy 75H7), i 25,9-26,43°C (początek obróbki tulei z otworem o średnicy 150H7 mm). Temperatury najwyższe w momencie końcowym obróbki wynosiły odpowiednio: 45,11-55,09°C (otwór o średnicy 75H10); 34,31-38,38°C (otwór o średnicy 75H7) i 29,87-32,56°C (otwór o średnicy 150H7). Na zmiany temperatury przedmiotu miały wpływ nie tylko warunki kinematyczne obróbki i nacisk osełek, ale i zastosowany czas gładzenia, który wynosił odpowiednio: 18-21 min (dla otworu 75H10, osełki elektrokorundowe A45M i z węgla krzemu H70J87 – oznaczenia wg firmy Sunnen

[23]), 29-34,5 min (dla otworu 75H7, oselki H70J87 ÷ 95, H50J67 ÷ 70 i borazonowe H70NM57XM84).



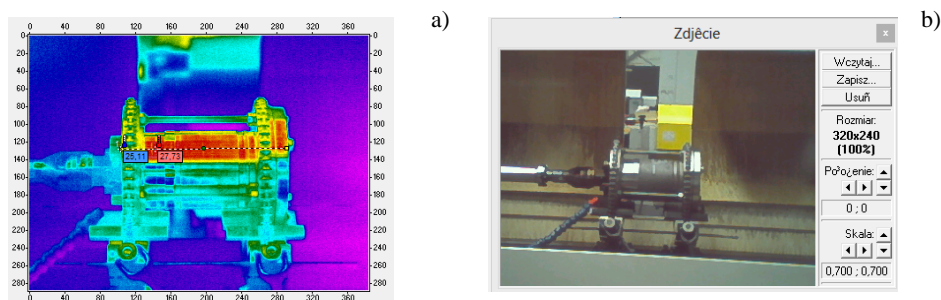
Rys. 4. Przykładowy termogram gładzonego przedmiotu



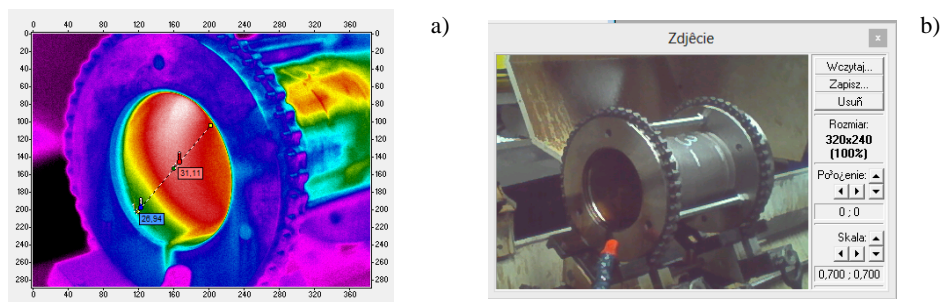
Rys. 5. Wykresy zmian i histogramy w pomiarach temperatury gładzonego otworu (o średnicy 75H7 mm): a) początkowy cykl obróbki, b) końcowy cykl obróbki, c) linie trendu

i 9-10 min (dla otworu 150H7). W każdym przypadku gładzenia otworu o średnicy 150 mm zastosowano oselki H70NM57XM84 (etap wstępny) i H70J87 (etap końcowy procesu).

Natężenie przepływu oleju w układzie zawierało się w przedziale 20-30 dm<sup>3</sup>/min, prędkość obwodowa głowicy 25 m/min i wybieg oselek 10 mm (liczba oselek w głowicy 2, liczba pilników w oselce 2). Prędkość wzdłużna głowicy wynosiła od 14 do 18 m/min. Docisk oselek w honownicy poziomej firmy Sunnen jest nastawiany w % mocy możliwej do wykorzystania w procesie (stosowano 12-30%). Wartość docisku jest tajemnicą handlową firmy [23], co stanowi istotną trudność badawczą.



Rys. 6. Obrazy gładzonego przedmiotu (o średnicy otworu 150H7 mm): a) termogram, b) widok układu obróbkowego



Rys. 7. Obrazy wnętrza gładzonego otworu (o średnicy 150H7 mm): a) termogram, b) widok zamocowanego przedmiotu

### 3. PODSUMOWANIE

Analizując otrzymane wyniki badań potwierdzono, że do czynników, które determinują wzrost temperatury podczas gładzenia należą: gabaryty i grubość ścianek tulei, rodzaj materiału przedmiotu, liczba (długość) cykli obróbkowych, rodzaj oselek ściernych, odstępy czasowe pomiędzy poszczególnymi etapami obróbki, temperatura

otoczenia, prędkość wzdłużna i nacisk oselek oraz przerwy związane z pracą operatora i niezbędnym przezbrajaniem obrabiarki.

W przypadku analiz termowizyjnych istotnym problemem są refleksy świetlne, które wpływają niekorzystnie na wyniki pomiarów, co szczególnie uwidacznia się podczas prób w warunkach produkcyjnych.

Celem przeprowadzonych pomiarów było rozpoznanie wpływu podstawowych warunków gładzenia otworów na zmiany temperatury przedmiotów cienkościennych, która w wyniku rozszerzalności cieplnej stali wpływa na analizowany wymiar średnicy. Poszukiwanie kompromisu, istotnego z punktu widzenia technologicznego i ekonomicznego, pomiędzy wydajnością a nagrzewaniem się elementów gładzonych będzie kolejnym etapem badań.

#### LITERATURA

- [1] BAI Y.J., ZHANG L.H., REN C.G., *Experimental investigation on honing of small holes*. W: Key Engineering Materials, vol. 329, 2007, 303-308.
- [2] BARYLSKI A., SENDER P., *Badania przyrostów średnic i temperatury przedmiotów podczas gładzenia długich otworów w warunkach produkcyjnych*. W: Materiały XXXVII Nauk. Szkoły Obróbki Ściernej, P.Kosz., Wyd. Mech., Kołobrzeg, 2014 (w druku).
- [3] BEYERER J., *Model-based analysis of groove textures with applications to automated inspection of machined surfaces*. W: Measurement, vol. 15, 1995, 189-199.
- [4] BO Z., CHUANSHAO L., GUOFU G., FENG J., *Surface characteristics in the ultrasonic ductile honing of ZrO<sub>2</sub> ceramics using coarse grits*. W: Journal of Materials Processing Technology, vol.123, 2002, 54-60.
- [5] BUJ-CORRAL I., VIVANCOS-CALVET J., COBA-SALCEDO M., *Modelling of surface finish and material removal rate in rough honing*. W: Precision Engineering, vol.38, 2014, 100-108.
- [6] BUJ-CORRAL I., VIVANCOS-CALVET J., *Roughness variability in the honing process of steel cylinders with CBN metal bonded tools*. W: Precision Engineering, vol.35, 2011, 289-293.
- [7] DYNAROWSKI R., NOWICKI B., *Investigation on non-conventional honing of sculptured surfaces for parts made of alloy steel*. W: Journal of Materials Processing Technology, vol.109, 2001, 270-276.
- [8] GONZÁLEZ-ROJAS H.A., VIVANCOS-CALVET J., COBA-SALCEDO M., *Thermal analysis of honing process*. W: Materials Science Forum, vol.526, 2006, 235-240.
- [9] GOUSKOV A.M., VORONOV S.A., BUTCHER E.A., SINHA S.C., *Non-conservative oscillations of a tool for deep hole honing*. W: Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, vol.11, 2006, 685-708.
- [10] GUO J., YU C., CAI G., *The influence of the grinding face to the material removal rate the heavy load honing*. W: Applied Mechanics and Materials, vol.63-64, 2011, 719-722.
- [11] GUO Y.B., ZHANG Y., ZHONG J.A., SYOJI K., *Optimization of honing wheel structure parameters in ultra-precision plane honing*. W: Journal of Materials Processing Technology, vol.129, 2002, 96-100.
- [12] HOFFMEISTER H., W., GROSSE T., GERDES A., *Investigation of the influence of different process setting parameters on the surface formation at honing of thermally sprayed layers*. W: Procedia CIRP, vol.1, 2012, 371-376.
- [13] <http://www.gehring.de> (dostęp 14.04.2014).
- [14] <http://www.kadia.de> (dostęp 14.04.2014).



- [15] <http://www.sunnen.pl> (dostęp 14.04.2014).
- [16] Instrukcja honownicy poziomej HTH 4000S, Sunnen Polska, Warszawa, 2009.
- [17] JANICKA A., *Analiza technologii gladzenia dlugich otworow na obrabiarce CNC*. Pr. dypl., Wyd. Mech., PG, prowadz. pr. A. Barylski, Gdańsk, 2013.
- [18] JOLIET R., KANSTEINER M., *A high resolution surface model for the simulation of honing processes*. W: *Advanced Materials Research*, vol.769, 2013, 69-76.
- [19] LAWRENCE D.K., RAMAMOORTHY B., *An accurate and robust method for the honing angle evaluation of cylinder liner surface using machine vision*. W: *Int.J.Adv.Manuf.Technol.*, vol.55, 2011, 611+621.
- [20] LIN Z., LIN P., *Preliminary study on mechanism of superalloy deep-hole honing*. W: *Applied Mechanics and Materials*, vol.271-272, 2013, 353-356.
- [21] LIN Z., PAN L., YAN C., *The adherence mechanism of superalloy honing oilstone*. W: *Key Engineering Materials*, vol.589-590, 2014, 464-469.
- [22] LIU Y., NIE J., GONG J., *The optimization design for protection plate structure of honing measuring head*. W: *Advanced Materials Research*, vol.628, 2013, 107-110.
- [23] Materiały firmy Sunnen Polska, Warszawa, 2014.
- [24] MISRA J.P., JAIN N.K., JAIN P.K., *Investigations on precision finishing of helical gears by electrochemical honing process*. W: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol.224, 2010, 1817-1830.
- [25] PU W., RUI Y., ZHAO L., ZHANG C., *Intelligence selection system for honing parameter based on genetics and artificial neural networks*. W: *Advanced Materials Research*, vol.102-104, 2010, 846-850.
- [26] RAJU H.P., NARAYANASAMY K., SRINIVASA Y.G., KRISHNAMURTHY R., *Characteristics of extrude honed SG iron internal primitives*. W: *Journal of Materials Processing Technology*, vol.166, 2005, 455-464.
- [27] ROSÉN B. D., THOMAS T.R., *Relationship of the plasticity index to machining parameters*. W: *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol.41, 2001, 2061-2069.
- [28] SZABÓ O., BARYLSKI A., *Tribology of honing*. W: *Tribologia*, nr 1(151), 1997, 89-101.
- [29] SZABÓ O., *Goodness indicator and technological optimization of honing*. W: *Key Engineering Materials*, vol.581, 2014, 261-265.
- [30] SZABÓ O., *Optimisation of technology and "quasi honing" of polygon bores*. W: *Journal of Materials Processing Technology*, vol.119, 2001, 117-121.
- [31] XU X., SUN Z., LIU Z., PENG H., *Deep-hole precision honing of difficult-to-cut materials*. W: *Advanced Materials Research*, vol.690-693, 2013, 3218-3221.
- [32] YU A.B., XU Y.S., CHEN S.F., LIN B., LIN B., TIAN X.L., *Analysis of material removal in alumina ceramic honing*. W: *Journal of Materials Processing Technology*, vol.129, 2002, 167-170.
- [33] YU T., GONG Y., WANG W., *Deep hole honing based on squeeze film damping technology*. W: *Advanced Materials Research*, vol.76-78, 2009, 252-257.
- [34] ZHANG Z., DONG P., DONG Z., *The honing process for precision holes*. W: *Applied Mechanics and Materials*, vol.419, 2013, 269-272.
- [35] ZHANG Y., NIU J., YANG Y., GONG J., *Study on the influence factors of honing efficiency*. W: *Advanced Materials Research*, vol.655-657, 2013, 1204-1209.
- [36] ZHU X.S., XU K.W., ZHAO B., MA A.Z., *Experimental and theoretical research on 'local resonance' in an ultrasonic honing system*. W: *Journal of Materials Processing Technology*, vol.129, 2002, 207-211.