

STANOWISKO DO BADANIA PROCESU SZLIFOWANIA WGŁĘBNEGO WAŁKÓW

Paweł LAJMERT¹, Dariusz OSTROWSKI¹, Małgorzata SIKORA¹,
Bogdan KRUSZYŃSKI¹

1. WSTĘP

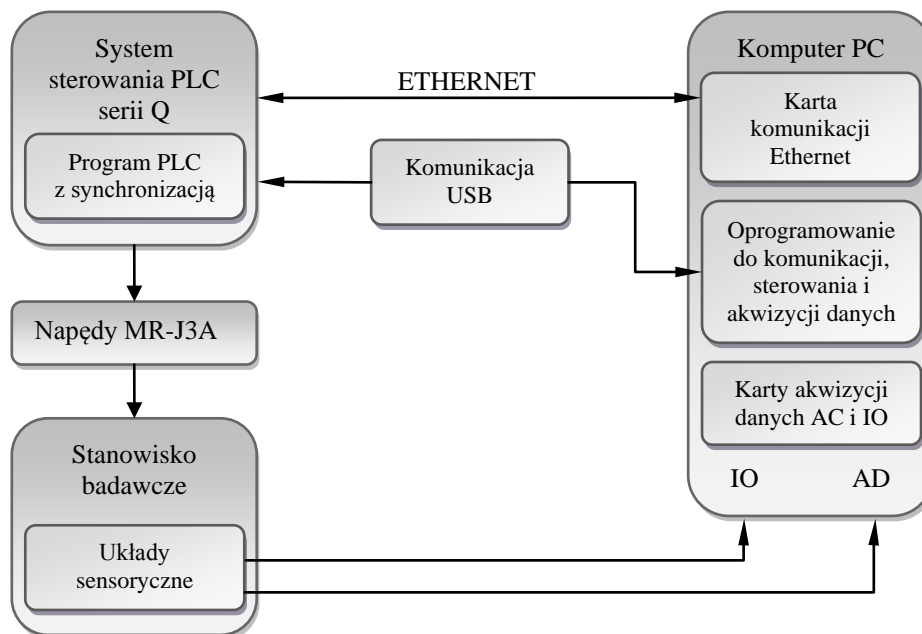
Niezbędnym warunkiem realizacji wiarygodnych badań dowolnego procesu szlifowania jest wyposażenie stanowiska badawczego w odpowiednio zintegrowane zespoły pomiarowe i sterujące [9]. Wybór właściwych układów pomiarowych stanowi podstawę do monitorowania wielu wielkości towarzyszących procesowi szlifowania, w których zawarta jest informacja o jego stanie, co w efekcie pozwala na przewidywanie niepożądanych stanów procesu oraz przewidywanie parametrów wynikowych obrabianych przedmiotów [1, 3, 4, 6]. W pracy omówiono przyjętą strukturę autorskiego układu sterowania stanowiska do badania procesu szlifowania kłowego wałków. Następnie przedstawiono opis urządzeń kontrolnych i pomiarowych wchodzących w skład zastosowanych torów pomiarowych i omówiono przykładowe wyniki badań. Badania prowadzono dla różnych warunków szlifowania, tj. dla optymalnych warunków szlifowania, w strefie uszkodzeń cieplnych przedmiotu oraz w strefie drgań regeneracyjnych ściernicy. Podczas badań szlifowano próbki w postaci pierścieni o średnicy 70 mm i szerokości 15 mm wykonane ze stali stopowej 38HMJ ulepszonej do 50 ± 2 HRC mocowane na trzpieniu. Zastosowano ściernicę ceramiczną z ziarnem mikrokryształicznym 3HA060J8V114 firmy Molemab. Prędkość szlifowania wynosiła 35 m/s. Badania prowadzono w uproszczonych cyklach szlifowania, w których zeszlifowywano około $22 \text{ mm}^3/\text{mm}$ materiału.

2. OGÓLNA BUDOWA UKŁADU STEROWANIA

Układ sterowania zbudowanego stanowiska do szlifowania wgłębnego wałków

¹ Politechnika Łódzka, Instytut Obrabiarek i TBM, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź

oparto o zaawansowany sterownik PLC serii Q Mitsubishi oraz pulpit dotykowy GOT. Schemat blokowy struktury systemu sterowania pracą zespołów napędowych oraz układów diagnostycznych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Ogólna struktura systemu sterowania

Autorskie oprogramowanie dla sterownika PLC oraz panelu operatora pozwala na edycję parametrów maszynowych, programów NC, bieżącą modyfikację parametrów obróbki w kolejnych fazach cyklu szlifowania oraz bezpośrednie sterowanie położeniem i prędkością wszystkich układów napędowych poprzez interfejs Ethernet z zewnętrznego nadrzędnego komputera PC.

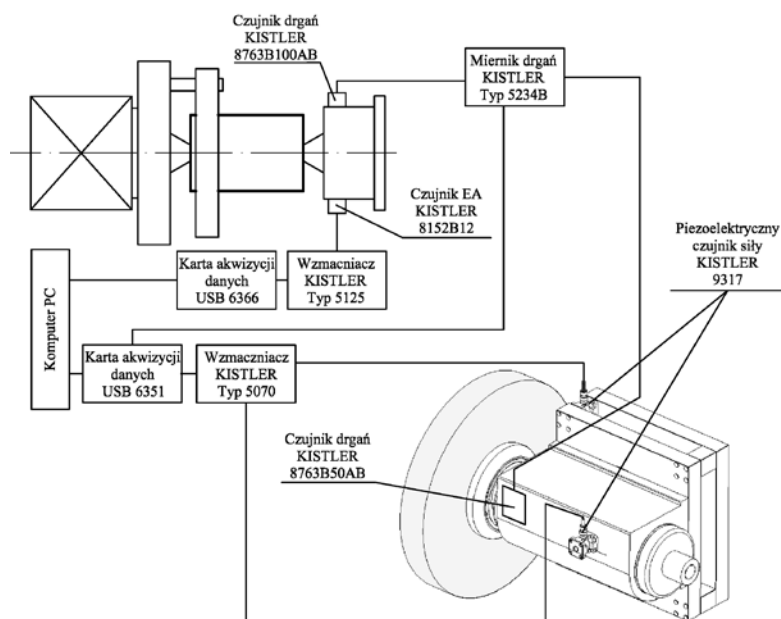
3. STRUKTURA UKŁADÓW MONITOROWANIA PROCESU SZLIFOWANIA

Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury oraz dotychczasowych badań własnych [5, 6, 9] wybrano potencjalnie użyteczne sygnały pomiarowe, kierując się przy tym możliwością montażu układów pomiarowych na szlifiernie. Przyjęto, że układ monitorowania stanu procesu powinien obejmować następujące sygnały rejestrowane w trakcie trwania prób szlifowania w sposób ciągły:

- pomiar sygnału drgań na kle konika oraz na wrzecienniku ściernicy,
- pomiar sygnału emisji akustycznej (AE) na kle konika,
- pomiar składowych siły szlifowania,

- pomiar momentu,
- pomiar mocy szlifowania.

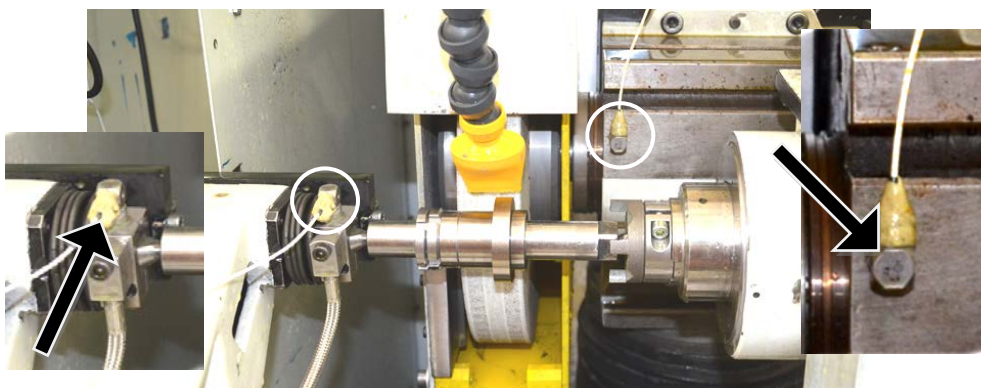
Na rysunku 2 przedstawiono strukturę zastosowanych układów pomiarowych.



Rys. 2. Struktura układów pomiarowych stanowiska badawczego

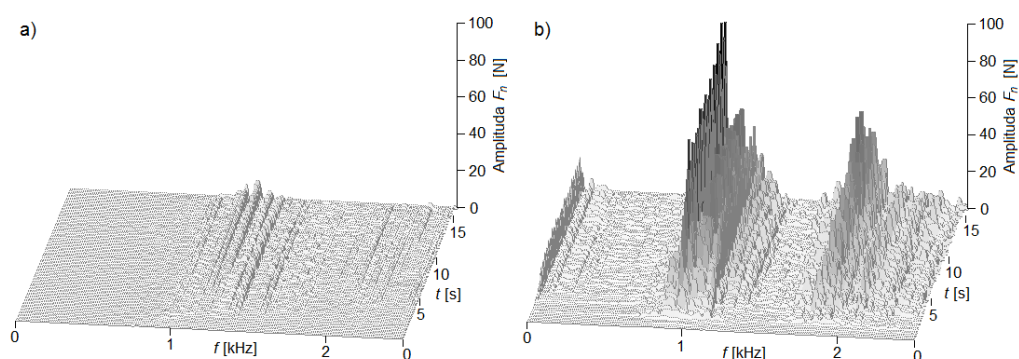
3.1. UKŁADY POMIARU DRGAŃ

W celu pomiaru sygnału drgań zastosowano trzyosiowe akcelerometry firmy Kistler typ 8763B100 oraz 8763B050 zamocowane odpowiednio na kle konika szlifierki oraz na przedniej ścianie korpusu wrzeciennika ściernicy w osi wrzeciona. Takie umiejscowienie czujników podyktowane było między innymi wymogiem uzyskania możliwie największego stosunku sygnału użytecznego do szumu oraz z fizycznej możliwości zamocowania ich na szlifierce. W przypadku czujnika zamocowanego na wrzecienniku ściernicy zachowany został ponadto warunek stałej odległości od strefy skrawania dla wszystkich przypadków technologicznych. Na rysunku 3 przedstawiono widok zamontowanych czujników drgań na wrzecienniku ściernicy i kle konika. Sygnały drgań z obu czujników kondycjonowano z wykorzystaniem wzmacniacza Kistler typ 5134B. Ponieważ pasma przenoszenia czujników wynosiły 7 kHz sygnały pomiarowe były następnie poddawane filtracji przy użyciu filtra antyaliasingowego o wartości 10 kHz.



Rys. 3. Umiejscowienie czujników drgań na wrzecienniku ściernicy i koniku

Z każdego czujnika rejestrowano składowe sygnały drgań w kierunku stycznym i normalnym do wektora prędkości dosuwu wrzeciona ściernicy. Do rejestracji składowych sygnałów drgań wykorzystano kartę akwizycji danych NI USB 6351. Składowe sygnały drgań były rejestrowane w sposób ciągły z częstotliwością 40 kHz. Na rysunku 4 przedstawiono widmo składowej normalnej sygnału drgań zarejestrowanego na kle konika.



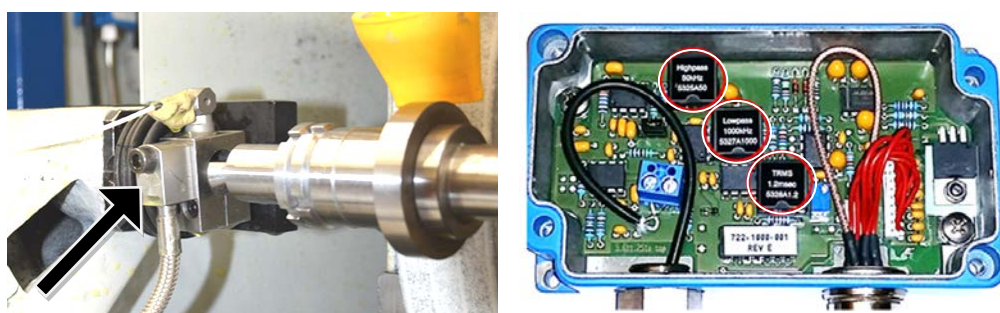
Rys. 4. Widmo normalnej składowej sygnału drgań zarejestrowanego na kle konika podczas szlifowania z wydajnością $Q'_w = 1.5 \text{ mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$ ($v_w = 0.2 \text{ m/s}$) dla: a) ściernicy ostrej i b) stopionej (10 cykl szlifowania po zeszlifowaniu $V'_w = 220 \text{ mm}^3/\text{mm}$)

Z przedstawionych wykresów wynika, że w sygnale drgań znajdują się różne składowe częstotliwościowe, będące częstościami drgań własnych szlifowanego wałka i struktury obrabiarki. Utrudnia to wykorzystanie tego sygnału do prognozowania makrogeometrii ściernicy, czy falistości przedmiotu.

3.2. UKŁAD POMIARU SYGNAŁU EMISJI AKUSTYCZNEJ

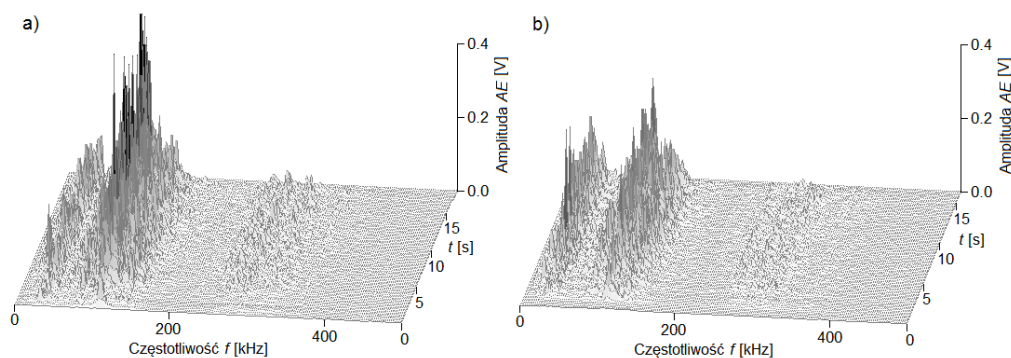
Kolejnym z sygnałów pozwalających scharakteryzować proces szlifowania jest sygnał emisji akustycznej. Jest on szczególnie często wykorzystywany do monitorowania stanu narzędzia ściernego (mikro-geometrii czynnej powierzchni ściernicy CPS), identyfikacji uszkodzeń cieplnych i estymacji parametrów warstwy wierzchniej przedmiotu [1, 4, 7, 8].

Do rejestracji sygnału emisji akustycznej wykorzystano małogabarytowy przewodowy czujnik AE firmy Kistler 8152B12. Widok zainstalowanego czujnika oraz dedykowanego wzmacniacza typ 5125A przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Widok czujnika emisji akustycznej na kle konika oraz wzmacniacza Kistler typ 5125A wraz z filtrami dla surowego sygnału AE i przetwornikiem wyznaczającym sygnał wartości skutecznej AE_{rms}

Na rysunku 6 przedstawiono przykładowe wykresy zmian widma surowego sygnału AE dla ściernicy ostrej i stępionej odpowiadające warunkom z rysunku 4. Widać, że w przypadku ściernicy stępionej, z powodu jej zalepienia, amplituda sygnału AE maleje, co może być miarą jej zużycia.



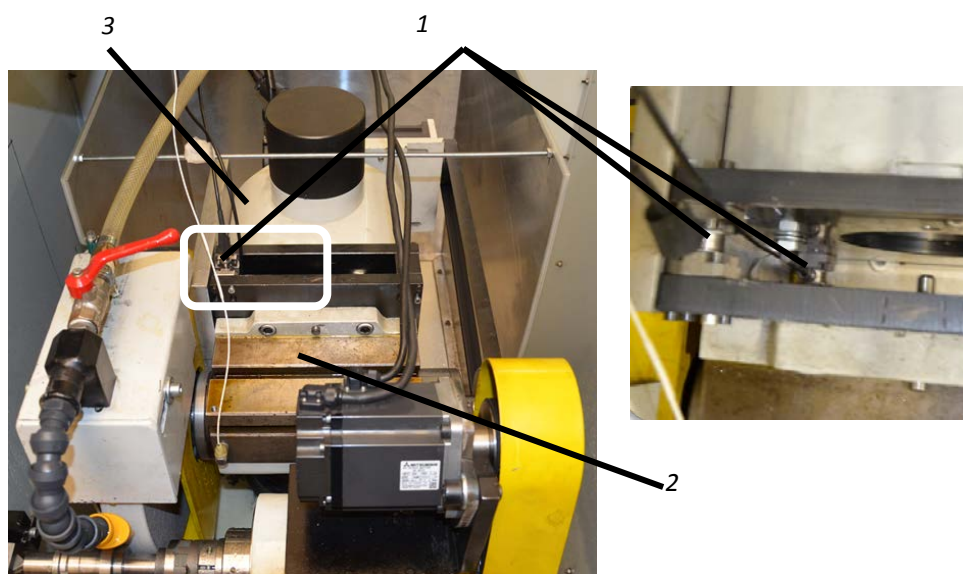
Rys. 6. Widmo surowego sygnału emisji akustycznej AE dla ściernicy: a) ostrej; b) stępionej

Wybór tego czujnika oraz jego umiejscowienia był podyktowany względami praktycznymi związanymi z montażem możliwe blisko strefy skrawania. Surowy sygnał emisji akustycznej oraz jego wartość skuteczną rejestrowano z wykorzystaniem karty pomiarowej NI USB 6366 w sposób ciągły z częstotliwością wynoszącą 2 MHz.

3.3. UKŁAD POMIARU SKŁADOWYCH SIŁY SZLIFOWANIA ORAZ MOCY SZLIFOWANIA

W celu uzyskania pełnego obrazu zjawisk zachodzących w procesie szlifowania równoległe z pomiarami sygnału drgań i emisji akustycznej dokonywane były pomiary składowych siły oraz mocy szlifowania.

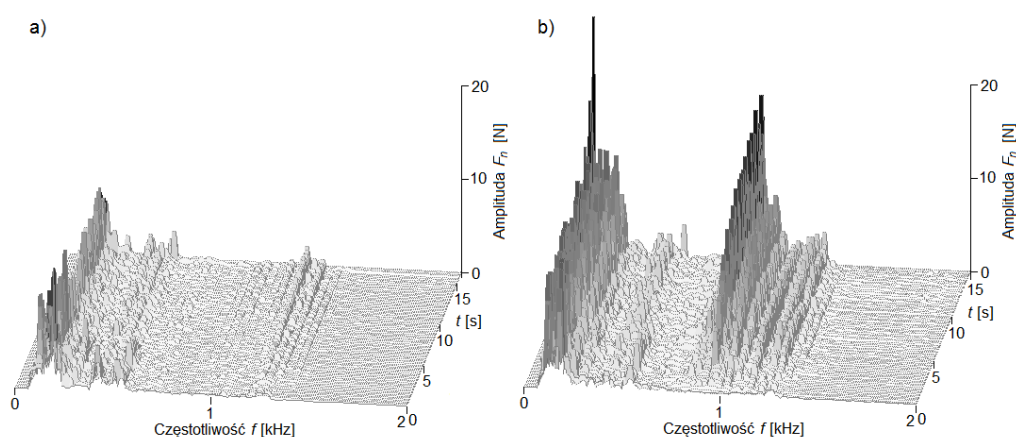
Do pomiaru składowych siły szlifowania zastosowano piezoelektryczne trójosiowe czujniki siły firmy Kistler 9317B. Czujniki te umieszczono pomiędzy korpusem obudowy wrzeciona ściernicy a korpusem obrotnicy szlifierki. Sposób zamocowania czujników przedstawiono na rysunku 7. Należy tutaj nadmienić, że montaż tych czujników wymagał największej ingerencji w układ konstrukcyjny wrzeciennika ściernicy.



Rys. 7. Umiejscowienie czujników siły: 1 – piezoelektryczne czujniki siły, 2 – obudowa wrzeciona ściernicy, 3 – obrotnica szlifierki)

Sygnały pomiarowe składowych siły szlifowania były rejestrowane w sposób ciągły z częstotliwością 40 kHz przy wykorzystaniu karty pomiarowej NI USB 6351. Opracowany układ pomiarowy pozwala na pomiar zarówno składowych statycznych jak i dynamicznych siły szlifowania w zakresie do około 2 kHz.

Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe zmiany widma składowej normalnej siły szlifowania dla ściernicy ostrej i stępionej po zeszlifowaniu około $220 \text{ mm}^3/\text{mm}$ materiału podczas szlifowania w warunkach drgań regeneracyjnych na ściernicy. Widać, że z powodu rozwoju falistości na ściernicy amplituda sygnału składowej odporowej rośnie w dwóch zakresach częstotliwości. Drugi zakres od około 0.8 do 1.3 kHz związany jest drganiami regeneracyjnymi na ściernicy.



Rys. 8. Zmiany widma sygnału składowej normalnej siły szlifowania podczas szlifowania z wydajnością $Q'_w = 1.5 \text{ mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$ ($v_w = 0.2 \text{ m/s}$) dla: a) ściernicy ostrej i b) stępionej (10 cykl szlifowania po zeszlifowaniu $V'_w = 220 \text{ mm}^3/\text{mm}$)

Ponadto zbudowane stanowisko pozwala na pomiar mocy szlifowania i momentu na wrzecionie przedmiotu w postaci sygnału napięciowego generowanego przez wzmacniacze napędu wrzeciona ściernicy i przedmiotu. Moment rejestrowany na wrzecionie przedmiotu pozwala przy znajomości średnicy przedmiotu na estymację składowej stycznej siły szlifowania.

4. WNIOSKI

W artykule omówiono stanowisko do badania procesu szlifowania kłowego wałków. Przyjęty zestaw sygnałów pomiarowych może być z powodzeniem zastosowany do identyfikacji niepożądanych stanów, takich jak stępienie ściernicy, praca w strefie uszkodzeń cieplnych czy drgania samowzbudne oraz do estymacji parametrów wynikowych procesu szlifowania. Wymaga to jednak zastosowania zaawansowanych metod przetwarzania sygnałów niestacjonarnych i nieliniowych oraz wyznaczenia odpowiednich cech tych sygnałów skorelowanych z różnymi stanami procesu [2]. Zbudowane stanowisko badawcze oraz uzyskane wyniki badań będą podstawą do opracowania inteligentnego systemu szlifowania kłowego wałków.

Badania realizowane w ramach Projektu "Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym", Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

LITERATURA

- [1] CHEN X., GRIFFIN J., *Grinding acoustic emission classification in terms of mechanical behaviours*. Key Engineering Materials, Vol. 329, 2007, 15-20.
- [2] HUANG N., et al., *The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis*. Proc. Roy. Soc. Lond., 1998.
- [3] INASAKI I., KARPUSZEWSKI B., LEE H.-S., *Grinding chatter – origin and suppression*. W: Annals of the CIRP Vol. 50/2, 2001, 515-534.
- [4] KARPUSZEWSKI B., WEHMEIER M., INASAKI I., *Grinding monitoring system based on power and acoustic emission sensors*. W: Annals of the CIRP Vol. 49/1, 2000, 235-240.
- [5] LAJMERT P., KRUSZYŃSKI B., *A diagnostic system for cylindrical plunge grinding process based on Hilbert Huang transform and principal component analysis*. W: Advances in Manufacturing Science and Technology, Vol. 34/3, 2010, 19-35.
- [6] LAJMERT P., KRUSZYŃSKI B., WRĄBEL D., *Modelowanie zależności w procesie szlifowania kłowego wałków z wykorzystaniem metody analizy składowych głównych i drzew decyzyjnych*. W. Mechanik nr 8-9, 2012.
- [7] LIU Q., GINDY N., *Investigating of acoustic emission signals under a simulative environment of grinding burn*. W: Int. Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 46, 2006, 284-292.
- [8] WANG Z., WILLET P., DEAGUIAR P., R., WEBSTER J., *Neural network detection of grinding burn from acoustic emission*. W: Int. Journal of Machine Tools and Manufacture, 41, 2001, 283-309.
- [9] WEGENER K., HOFFMEISTER H.-W., KARPUSCHEWSKI B., KUSTER F., HAHMANN W.-C., RABIEY M., *Conditioning and monitoring of grinding wheels*. W: Annals of the CIRP, Vol. 60/2, 2011, 757-777.