

	Organizatorzy: Politechnika Łódzka Wydział Mechaniczny	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ Łódź - Uniejów 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

Wpływ warunków obróbki stopu Inconel 718 na efekty procesu szlifowania

The Influence of machining conditions of Inconel 718 alloy on the effects of grinding process

MAŁGORZATA SIKORA
DARIUSZ OSTROWSKI
BOGDAN KRUSZYŃSKI
PAWEŁ LAJMERT *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.389

W artykule przedstawiono badania szlifowania powierzchni cylindrycznych stopu Inconel 718 dla różnych parametrów kinematycznych szlifowania i różnych ściernic. Przeprowadzono analizę wpływu warunków obróbki na zmiany składowych siły szlifowania oraz emisji akustycznej. W końcowej części pracy przedstawiono wpływ zastosowanych ściernic i warunków obróbki na wybrane parametry wynikowe szlifowanych przedmiotów.

SŁOWA KLUCZOWE: Inconel 718, szlifowanie cylindryczne

In the paper grinding process has been studied in the machining of Inconel 718 alloy for different grinding kinematic parameters and grinding wheels in external cylindrical grinding. An analysis was carried out to investigate the influence of grinding conditions on the course of grinding force components and acoustic emission signal. In the end the influence of grinding wheels and grinding conditions on selected grinding results are presented.

KEYWORDS: Inconel 718, cylindrical grinding

Wprowadzenie

Nieustanny rozwój techniki wymuszony oczekiwaniami rynku powoduje konieczność stosowania w przemyśle specjalnych stopów metali. Do grupy tych materiałów należą niewątpliwie stopy na bazie niklu, charakteryzujące się ponadprzeciętnymi właściwościami eksploatacyjnymi w szczególnie wymagających aplikacjach.

Superstopy na osnowie niklu, umacniane fazą γ , z uwagi na wyjątkowe właściwości, w tym znaczną wytrzymałość mechaniczną przy wysokich temperaturach (np. stop Inconel 718 charakteryzuje się wytrzymałością 340 MPa w temperaturze 870°C [3]), wytrzymałość na pełzanie i odporność na utlenianie znalazły powszechne zastosowanie między innymi w przemyśle lotniczym oraz energetycznym [16]. Dodatkową, przydatną w wielu aplikacjach, właściwością eksploatacyjną stopów Inconel jest niska przewodność cieplna, co niestety powoduje znaczne utrudnienia przy szlifowaniu.

Jednym z często stosowanych materiałów jest utwardzalny wydzieleniowo stop niklowo-chromowy Inconel 718. Jest on szeroko stosowany w konstrukcjach silników lotniczych oraz turbin gazowych w energetyce. Z powodu wymienionych wcześniej właściwości stopów niklu podczas ich obróbki występuje wiele trudności. Powstają między innymi większe siły szlifowania niż w przypadku materiałów konwencjonalnych oraz generowane są znaczne ilości ciepła [9, 15]. Potwierdzeniem tej sytuacji są podejmowane od kilku lat próby obniżenia sił szlifowania poprzez wprowadzenie do procesu obróbczego wspomaganie ultradźwiękowego [1].

Nadstopy na bazie niklu wykazują ponadto tendencję do utwardzania materiału w strefie styku ze ściernicą, co dodatkowo utrudnia ich obróbkę [10]. Jak już wspomniano są one słabymi przewodnikami ciepła, co w połączeniu z niską przewodnością cieplną konwencjonalnych ściernic o spoiwie ceramicznym prowadzi do akumulacji dużych ilości ciepła w strefie styku ściernicy z przedmiotem, wpływając na szybsze zużycie narzędzia ściernego i pogorszenie parametrów warstwy wierzchniej obrabianych przedmiotów [9, 15].

Na parametry wynikowe szlifowania ma wpływ szereg czynników związanych z zastosowaną obrabiarką, narzę-

* dr inż. Małgorzata Sikora (malgorzata.sikora@p.lodz.pl),
dr inż. Dariusz Ostrowski (dariusz.ostrowski@p.lodz.pl),
prof. dr hab. inż. Bogdan Kruszyński (bogdan.kruszynski@p.lodz.pl),
dr inż. Paweł Lajmert (pawel.lajmert@p.lodz.pl).

dziem ściernym, jak również wyborem właściwych parametrów kinematycznych procesu szlifowania [10]. Gdy warunki obróbki są niewłaściwie dobrane mogą powstawać drgania samowzbudne oraz duże wartości sił szlifowania [4]. Z tych powodów konieczne jest poznanie wpływu warunków obróbki na przebieg i parametry wynikowe szlifowania.

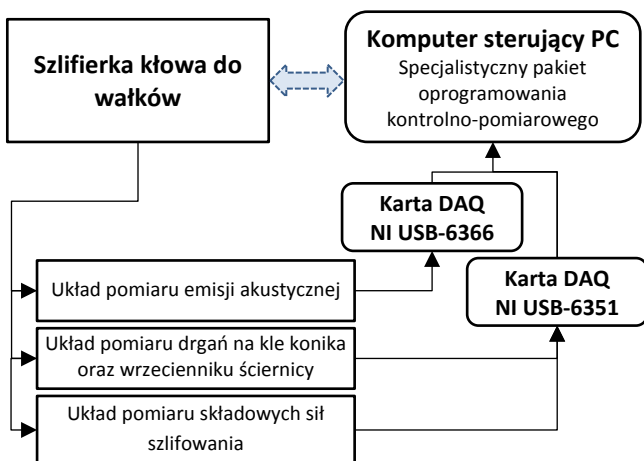
Podstawą monitorowania procesu jest pomiar różnych wielkości towarzyszących procesowi szlifowania, z których możliwe jest wyznaczenie pojedynczej cechy bądź zbioru cech skorelowanych ze stanem narzędzia ściernego lub parametrami warstwy wierzchniej szlifowanego przedmiotu [2, 5, 6, 7, 14]. W systemach monitorowania procesów szlifowania pomiar mocy bądź siły szlifowania może być wykorzystany do estymacji zdolności skrawnej ściernicy [5, 8]. Z kolei emisja akustyczna AE (ang. acoustic emission) jest związana z procesami skrawania, stąd też może być użyta do estymacji chropowatości szlifowanej powierzchni, parametrów czynnej powierzchni ściernicy CPS lub identyfikacji niepożądanych stanów procesu, takich jak uszkodzenia cieplne przedmiotu [13].

W niniejszym artykule zbadano wpływ zastosowanego rodzaju materiału ziarna ściernicy ceramicznej i parametrów kinematycznych procesu szlifowania na parametry wynikowe szlifowanych przedmiotów oraz na wybrane wielkości towarzyszące procesowi szlifowania.

Stanowisko badawcze

Badania eksperymentalne przeprowadzono na autorskim stanowisku badawczym zbudowanym przez zespół pracowników Instytutu Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej [7].

Działanie wszystkich układów pomiarowych nadzorowano z użyciem komputera PC wyposażonego w odpowiednie karty pomiarowe oraz program komputerowy do akwizycji, przetwarzania i wizualizacji danych pomiarowych. Schemat blokowy zastosowanych układów pomiarowych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Struktura układów pomiarowych stanowiska badawczego

Do pomiaru składowych siły szlifowania zastosowano dwa piezoelektryczne trzyosiowe czujniki siły firmy Kistler 9317B. Czujniki te umieszczono pomiędzy wrzeciennikiem ściernicy a korpusem obrotnicy szlifierki. Zbudowany układ pomiaru sił pozwala na rejestrowanie składowej statycznej siły szlifowania jak i składowej dynamicznej z częstotliwością do około 2 kHz.

Do pomiaru sygnału drgań zastosowano trzyosiowe akcelerometry firmy Kistler typ 8763B100 oraz 8763B050 za-

mocowane odpowiednio na kle konika szlifierki oraz na przedniej ścianie korpusu wrzeciennika ściernicy w osi wrzeciona. Takie umiejscowienie czujników podyktowane było między innymi wymogami 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.

W celu poznania szerszego obrazu zjawisk zachodzących w procesie szlifowania równoległe z pomiarami siły szlifowania oraz drgań, dokonywana była rejestracja sygnału emisji akustycznej, do czego wykorzystano przewodowy czujnik Kistler 8152B121 zamocowany do kła konika szlifierki. Zakres pomiarowy zastosowanego czujnika emisji zawiera się w przedziale częstotliwości od około 100 kHz do 900 kHz. Sygnał z czujnika był wzmacniany i filtrowany przy użyciu wzmacniacza Kistler typ 5125A wyposażonego w filtr pasmowo-przepustowy o częstotliwościach odcinania wynoszących odpowiednio 50 kHz i 1MHz. Sygnał ten był następnie we wzmacniaczu podawany do przetwornika wartości skutecznej o okresie całkowania sygnału wynoszącym $\tau_s = 0,12$ ms. Surowy sygnał emisji akustycznej oraz jego wartość skuteczną rejestrowano w pamięci komputera przy użyciu karty NI USB 6366. Oba sygnały rejestrowane były w sposób ciągły z częstotliwością 2 MHz.

Zastosowane autorskie oprogramowanie kontrolno-pomiarowe szlifierki pozwalało na edycję parametrów maszynowych, programów NC oraz bezpośrednie sterowanie położeniem i prędkością wszystkich układów napędowych poprzez interfejs Ethernet z zewnętrznego komputera sterującego PC. Równoległe oprogramowanie to umożliwiała rejestrację online wszystkich sygnałów z opisanych układów pomiarowych. Szerszy opis wykorzystanego stanowiska badawczego przedstawiono w [7]. Pomiar parametrów chropowatości dokonano przyrządem do pomiaru chropowatości SurfTest SJ-200 firmy Mitutoyo.

Warunki badań

Badania doświadczalne przeprowadzono celem weryfikacji przydatności wybranych ściernic do szlifowania stopu Inconel 718 oraz w celu ustalenia wpływu warunków obróbki na przebieg procesu i chropowatość powierzchni. W przeprowadzonych próbach szlifowano próbki w postaci pierścieni o średnicy 60 mm i szerokości 10 mm mocowane na trzpieniu. Badania przeprowadzono z użyciem konwencjonalnej ściernicy ceramicznej z ziarnem z elektrokorundu szlachetnego 38A60K5VBE oraz ściernicą z mieszanką ziaren ściernych konwencjonalnych z ziarnem SG o oznaczeniu SGB60KVX firmy Norton.

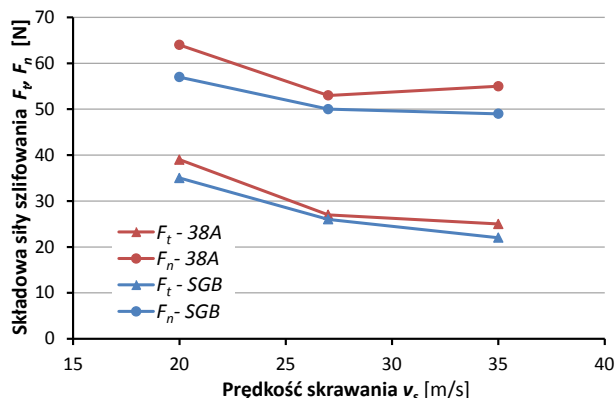
Badania realizowano dla różnych wydajności objętościowych szlifowania Q_w wynoszących 0,3, 0,6 i 0,9 mm³/(mm·s) oraz różnych prędkości obwodowych przedmiotu v_w wynoszących 50, 100, 150 i 200 mm/s. We wszystkich próbach szlifowania zmieniano ponadto prędkość skrawania v_s na trzech poziomach wynoszących 20, 27 i 35 m/s. Zakres zmian prędkości skrawania ustalono na podstawie przeglądu literatury [9, 12, 11, 15] i wstępnych prób szlifowania sugerując się wynikowymi parametrami geometrii szlifowanej powierzchni oraz wartościami sił szlifowania i emisji akustycznej.

Szlifowano w cyklach składających się z dosuwu roboczego bez wyiskrzania i szybkiego odskoku z prędkością 200 μm/s, każdorazowo zbierając objętość właściwą zeszlifowanego materiału V_w równą 20 mm³/mm.

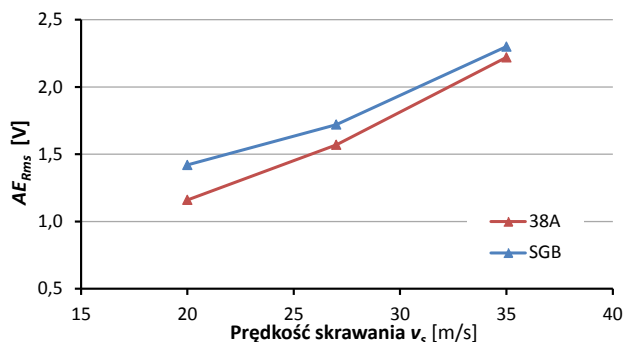
W procesie kondycjonowania ściernicy przyjęto prędkość obwodową ściernicy równą 33 m/s, dosuw kondycjonowania ściernicy a_d wynoszący 20 μm i posuw wzdłużny kondycjonowania v_{fd} równy 100 mm/min. Wynikowy wskaźnik pokrycia k_d wyniósł około 8. Jako chłodziwo zastosowano 3% wodny roztwór emulsji syntetycznej Mobilcut 321.

Wyniki badań

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wybrane charakterystyki zmian składowych siły szlifowania i wartości skutecznej sygnału emisji akustycznej AE_{rms} w funkcji prędkości skrawania dla obu zastosowanych ściernic.



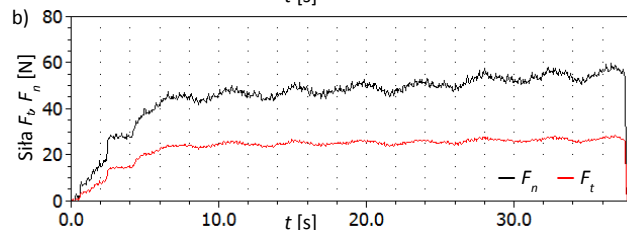
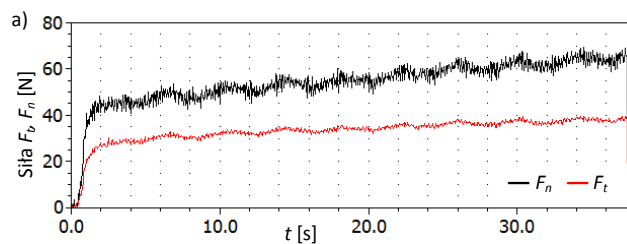
Rys. 2. Zmiany składowych siły szlifowania w funkcji prędkości skrawania v_s dla: $v_w = 100$ mm/s i $Q'_w = 0,6$ mm³/(mm·s)



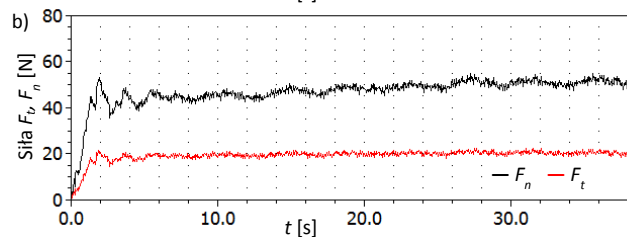
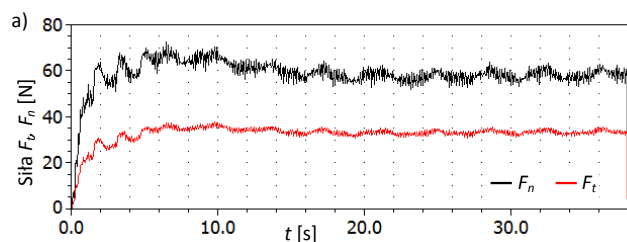
Rys. 3. Zmiany wartości skutecznej AE_{rms} w funkcji prędkości skrawania v_s dla: $v_w = 100$ mm/s i $Q'_w = 0,6$ mm³/(mm·s)

Na podstawie przedstawionych charakterystyk można stwierdzić, że wartości składowych siły szlifowania maleją wraz ze wzrostem prędkości skrawania, natomiast wartość AE_{rms} rośnie. Wzrost sygnału AE_{rms} może świadczyć o przewadze zjawisk związanych z mikrodeformacją i tarciami zachodzącym w obrabianym materiale i przewadze procesów skrawania, dzięki czemu maleje siła szlifowania. Ponadto wzrost poziomu AE_{rms} może świadczyć o zachodzących procesach mikrowykruszania się ziaren ściernicy, co dodatkowo sprzyja oczyszczaniu CPS i utrzymaniu przez nią właściwości skrawnych. Potwierdzeniem tego mogą być przedstawione na rysunkach 4 i 5 przebiegi składowych siły szlifowania dla prędkości skrawania v_s równej 20 m/s oraz 35 m/s przy $v_w = 100$ mm/s, i $Q'_w = 0,6$ mm³/(mm·s). Na podstawie zaprezentowanych charakterystyk można stwierdzić, że dla prędkości skrawania 20 m/s ściernica 38A uległa zalepieniu w większym stopniu niż przy prędkości 35 m/s o czym świadczy większy wzrost siły odporowej.

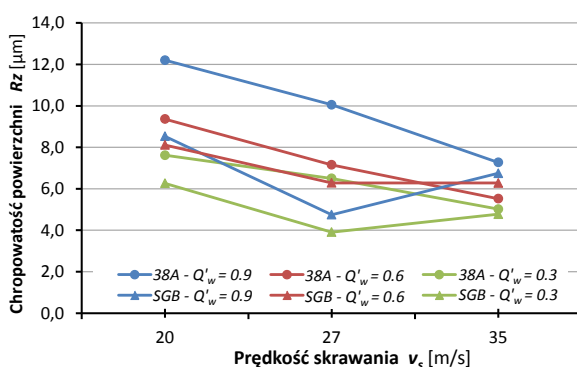
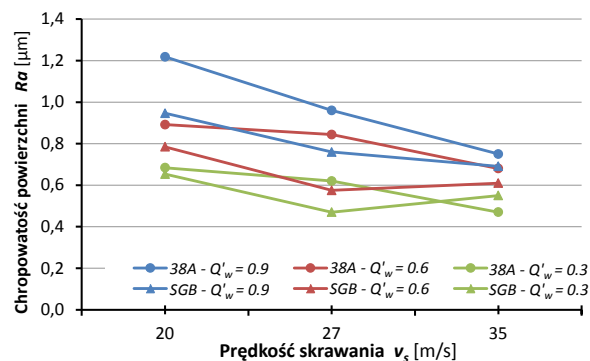
Na rysunku 6 przedstawiono zmiany parametrów chropowatości R_a i R_z szlifowanej powierzchni w funkcji prędkości skrawania v_s . Widać, iż w przypadku obu ściernic chropowatość powierzchni maleje wraz ze wzrostem prędkości skrawania.



Rys. 4. Przebieg składowych siły szlifowania F_t i F_n dla ściernicy 38A przy prędkości skrawania: a) $v_s = 20$ m/s, b) $v_s = 35$ m/s

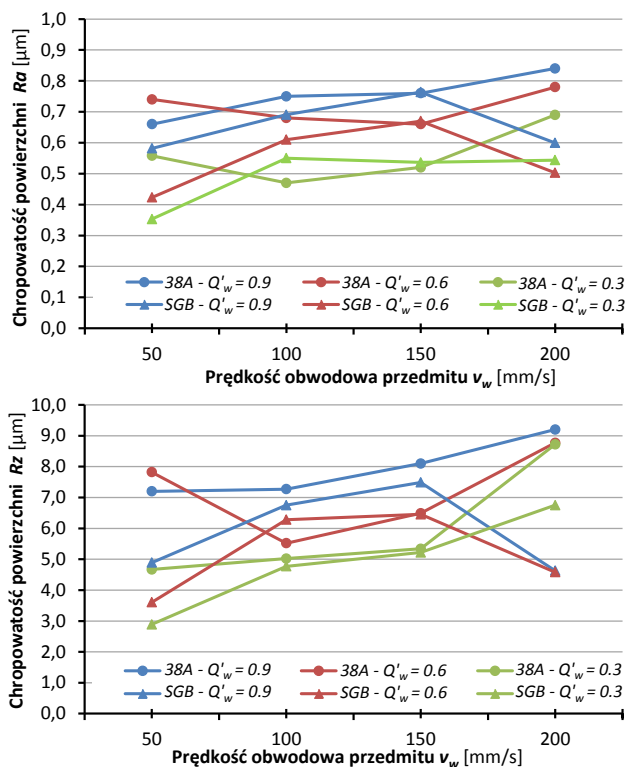


Rys. 5. Przebieg składowych siły szlifowania F_t i F_n dla ściernicy SGB przy prędkości skrawania: a) $v_s = 20$ m/s, b) $v_s = 35$ m/s



Rys. 6. Zależność chropowatości R_a i R_z szlifowanej powierzchni od prędkości skrawania v_s dla prędkości obwodowej przedmiotu $v_w = 100$ mm/s i różnej właściwej wydajności szlifowania Q'_w

Na rysunku 7 przedstawiono z kolei zmiany parametrów chropowatości R_a i R_z w funkcji prędkości obwodowej przedmiotu dla różnych właściwych wydajności szlifowania Q'_w . Z przedstawionych wykresów widać, iż zasadniczo chropowatość powierzchni ulega zmniejszeniu wraz ze zmniejszeniem prędkości obwodowej przedmiotu.



Rys. 7. Zależność chropowatości R_a i R_z szlifowanej powierzchni od prędkości obwodowej przedmiotu v_w dla prędkości skrawania $v_s = 35$ m/s i różnych właściwych wydajności szlifowania Q'_w

Podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników badań doświadczalnych można wyciągnąć następujące wnioski:

- Dla zmniejszenia wynikowej chropowatości szlifowanej powierzchni należy stosować odpowiednio niskie prędkości obwodowe przedmiotu.
- Większe wartości prędkości skrawania pozwalają na uzyskanie niższych chropowatości szlifowanej powierzchni przedmiotu w przypadku obu ściernic.
- Zwiększenie prędkości skrawania powoduje zmniejszenie siły szlifowania, co sprzyja uzyskaniu wyższej dokładności geometrycznej szlifowanych przedmiotów i skróceniu cyklu szlifowania.
- Zastosowanie ściernicy SGB60KVX pozwala na uzyskanie niższych wartości chropowatości powierzchni oraz mniejszych sił skrawania przy zachowaniu identycznych parametrów skrawania.
- Analizując uzyskane charakterystyki emisji akustycznej oraz czasowych przebiegów sił szlifowania można wnioskować, iż ściernica SGB60KVX będzie się charakteryzowała większą trwałością od ściernicy 38A60K5VBE.

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 (PO IG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

LITERATURA

1. Bhaduri D., Soo S.L., Aspinwall D.K., Novovic D., Harden P., Bohr S., Martin D., A study on ultrasonic assisted creep feed grinding of nickel based superalloys. 5-th CIRP Conference on High Performance Cutting 2012.
2. Burek J., Babiarz R., Żyłka Ł., Nadzorowanie procesu szlifowania węgelnego z wykorzystaniem sygnału emisji akustycznej. *Mechanik* 8-9, 66-74, 2013.
3. Groover M.P., Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems. 4th edition, ISBN 978-0470-467002, 2010.
4. Inasaki I., Karpuszewski B., Lee H., Grinding chatter – origin and suppression. *Annals of the CIRP*, Vol. 50/2, 515-535, 2001.
5. Karpuszewski B., Wehmeier M., Inasaki I., Grinding monitoring system based on power and acoustic emission sensors. *Annals of the CIRP* Vol. 49/1, 235-240, 2000.
6. Lajmert P., Kruszyński B., Wrąbel D., Identyfikacja wczesnych symptomów niepożądanych stanów procesu w szlifowaniu kłowym wałków, XXXIV Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, 2011.
7. Lajmert P., Ostrowski D., Sikora M., Kruszyński B.: Stanowisko do badania procesu szlifowania węgelnego wałków; *Mechanik*, 8/9, 195-202, 2014.
8. Liu Q., Chen X., Wang Y., Gindy N., Empirical modelling of grinding force based on multivariate analysis. *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 203, 420-430, 2008.
9. Ming C., Xiaotian L., Fanghong S., Yucheng X., Bingyuan X., Studies on the grinding characteristics of directionally solidified nickel-based superalloy. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 116, 165-169, 2001.
10. Oczko K., Porzycki J., Szlifowanie. WNT Warszawa, 1986.
11. Sikora M., Lajmert P., Ostrowski D., Kruszyński B., Szlifowanie stopów niklu na szlifierce kłowej. *Mechanik*, 8/9, 245-248, 2014.
12. Tso P., Study on the grinding of Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 55, 421-426, 1995.
13. Webster J., Marinescu I., Acoustic emission for process control and monitoring of surface integrity during grinding. *Annals of the CIRP*, Vol. 43/1, 299-304, 1994.
14. Wegener K., Hoffmeister H.-W., Karpuschewski B., Kuster F., Hahmann W.-C., Rabiey M., Conditioning and monitoring of grinding wheels. *Annals of the CIRP*, Vol. 60/2, 757-777, 2011.
15. Xu X., Yu Y., Xu H., Effect of grinding temperatures on the surface integrity of a nickel-based superalloy. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 129, 359-363, 2002.
16. Zalecki W., Łapczyński Z., Rońda J., Gnot A., Charakterystyki wysokotemperaturowe stopów Inconel 625 i 718. *Prace Instytutu Metalurgii Żelaza* 3, 35-41, 2013.