

Wpływ warunków obróbki stopu Nickel 201 na efekty procesu szlifowania

The Influence of machining conditions Nickel 201 on the effects of the grinding process

DARIUSZ OSTROWSKI
MAŁGORZATA SIKORA
BOGDAN KRUSZYŃSKI*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.12.596

W artykule przedstawiono badania szlifowania zewnętrznych powierzchni cylindrycznych stopu Nickel 201 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: Nickel 201, szlifowanie cylindryczne

In the paper grinding process has been studied in the machining of Nickel 201 alloy for different grinding kinematic parameters and grinding wheels in OD 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 conditions on selected grinding results are presented.

KEYWORDS: Nickel 201, cylindrical grinding

Wprowadzenie

Potrzeba produkcji szczególnie w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym coraz bardziej odpornych na niekorzystne warunki pracy elementów oraz zespołów urządzeń wymusza stosowanie specjalnych stopów metali. Do grupy tych materiałów należą niewątpliwie stopy niklu, charakteryzujące się ponadprzeciętnymi właściwościami eksploatacyjnymi w szczególności wymagających aplikacjach.

Nadstopy na osnowie niklu z uwagi na wyjątkowe właściwości mechaniczne przy jednoczesnej odporności na szeroki zakres mediów korozyjnych znajdują zastosowanie w różnorodnych gałęziach przemysłu od przemysłu medycznego po lotniczy. Chęć zastosowania materiałów o tak specyficznych właściwościach stanowi wyzwanie dla technologów by przy aktualnym zaawansowaniu maszyn i narzędzi realizować proces produkcyjny na wymaganym poziomie produktywności urządzeń.

Celem prowadzonych badań, których efekty przedstawiono w niniejszym artykule, było określenie korzystnych parametrów obróbkowych dla osiągnięcia najniższej chropowatości powierzchni.

Do badań szlifowania wytypowano stop należący do grupy A Nickel 201. Komercyjnie „czysty” (min. 99,0%), obrobiony plastycznie nikiel z dobrymi właściwościami mechanicznymi i odpornością na szeroki zakres mediów korozyjnych, charakteryzuje się ponad to korzystnymi właściwościami: cieplnymi, elektrycznymi i magnetostrykcyjnymi.

W tabeli 1 zestawiono właściwości fizyczne i mechaniczne stopu 201.

TABLICA I. Wybrane właściwości fizyczne i mechaniczne stopu Nickel 201 [1]

Właściwości fizyczne	
Gęstość, g/cm ³	8,89
Temperatura topnienia, °C	~ 1440
Ciepło właściwe, J/kg·°C	456
Temperatura Curie, °C	360
Przenikalność	feromagnetyczny
Rozszerzalność cieplna, 21+93°C,	13,1
Przewodność cieplna, W/m·°C	550
Odporność elektryczna, μΩ·m	0,085
Właściwości mechaniczne	
Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	403
Umowna granica plastyczności, MPa	103
Wydłużenie, %	50

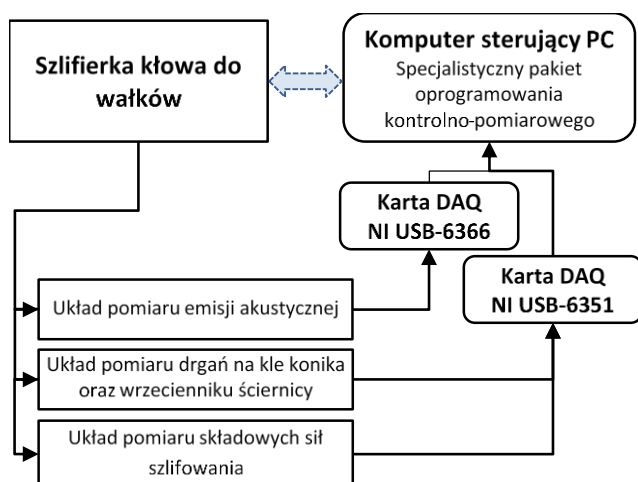
Na parametry wynikowe szlifowania ma wpływ szereg czynników związanych z zastosowaną obrabiarką, narzędziem ściernym, jak również wyborem właściwych parametrów kinematycznych procesu szlifowania [8]. Gdy warunki obróbki są niewłaściwie dobrane mogą powstawać drgania samowzbudne oraz duże wartości sił szlifowania [3]. 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, 4, 5, 13]. W systemach monitorowania procesów szlifowania pomiar mocy bądź siły szlifowania może być wykorzystany do estymacji zdolności skrawnej ściernicy [4]. 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 [12].

Stanowisko badawcze

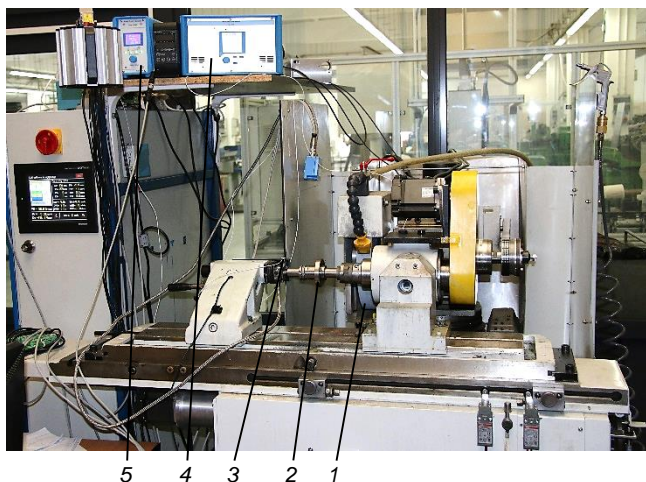
Badania eksperymentalne przeprowadzono na autorskim stanowisku badawczym zbudowanym przez zespół pracowników Instytutu Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn Politechnik Łódzkiej.

Działania wszystkich układów pomiarowych nadzorowano komputerem PC wyposażonym w odpowiednie karty pomiarowe oraz autorski system akwizycji danych. Strukturę zastosowanych układów pomiarowych przedstawiono na rysunku 1, natomiast na rysunku 2 pokazano widok stanowiska.

* dr inż. Dariusz Ostrowski (dariusz.ostrowski@p.lodz.pl), dr inż. Małgorzata Sikora (malgorzata.sikora@p.lodz.pl), prof. dr hab. inż. Bogdan Kruszyński (bogdan.kruszynski@p.lodz.pl) – Politechnika Łódzka



Rys. 1. Struktura układów pomiarowych stanowiska badawczego



Rys. 2. Widok stanowiska badawczego: 1 – ściernica, 2 – przedmiot obrabiany, 3 – czujnik drgań, 4 – wzmacniacz sił, 5 – wzmacniacz drgań

Do pomiaru składowych siły szlifowania zastosowano dwa piezoelektryczne trzyosiowe czujniki siły firmy Kistler 9317B. Czujniki te umieszczono pomiędzy wrzeciennikiem 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 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.

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. Charakterystyka zastosowanego czujnika pozwalała na pomiar sygnału na poziomie 48 dBref 1Vs/m dla fal powierzchniowych i podłużnych. 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 kontrolnopomiarowe 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 niniejsze oprogramowanie umożliwiała rejestrację online wszystkich sygnałów z opisanych układów pomiarowych. Szerszy opis wykorzystanego stanowiska badawczego przedstawiono w publikacji [6].

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 Nickel 201 oraz w celu ustalenia wpływu warunków obróbki na przebieg procesu i chropowatość powierzchni. W przeprowadzonych próbach szlifowano próbki w postaci pierścieni o średnicy 65 mm i szerokości 10 mm mocowane na trzpieniu. Badania przeprowadzono z użyciem ściernic zalecanych do obróbki stopów Inconel tj. konwencjonalnej ściernicy ceramicznej z ziarnem z zielonego węgla krzemu 39C54MVS 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 oraz $0,9 \text{ mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ oraz różnej prędkości obwodowej przedmiotu v_w wynoszącej 100, 200 i 300 mm/s. We wszystkich próbach szlifowania zmieniano ponadto prędkość skrawania v_s na trzech poziomach wynoszących 35, 40 i 45 m/s. Zakres zmian prędkości skrawania ustalono na podstawie przeglądu literatury [7, 9, 11, 14÷16] 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 odsoku z prędkością $200 \mu\text{m/s}$, każdorazowo zbierając objętość właściwą zeszlifowanego materiału V'_w równą $20 \text{ mm}^2/\text{mm}$.

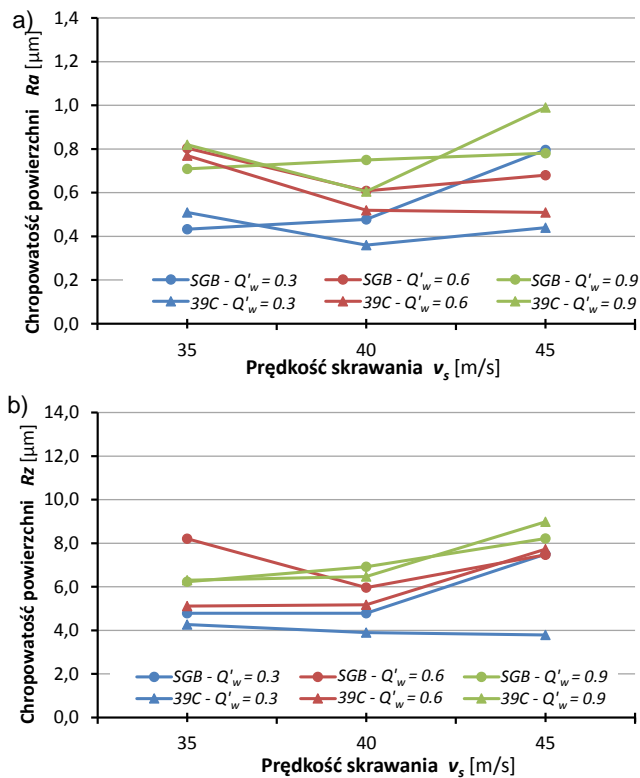
W procesie kondycjonowania ściernicy przyjęto prędkość obwodową ściernicy równą 25 m/s, dosuw kondycjonowania ściernicy a_d wynoszący $20 \mu\text{m}$ i posuw wzdłużny kondycjonowania v_{fd} równy 100 mm/min. Wynikowy wskaźnik pokrycia k_d wynosił około 8. Jako chłodziwo zastosowano 3% wodny roztwór emulsji syntetycznej Mobilcut 321.

Wyniki badań

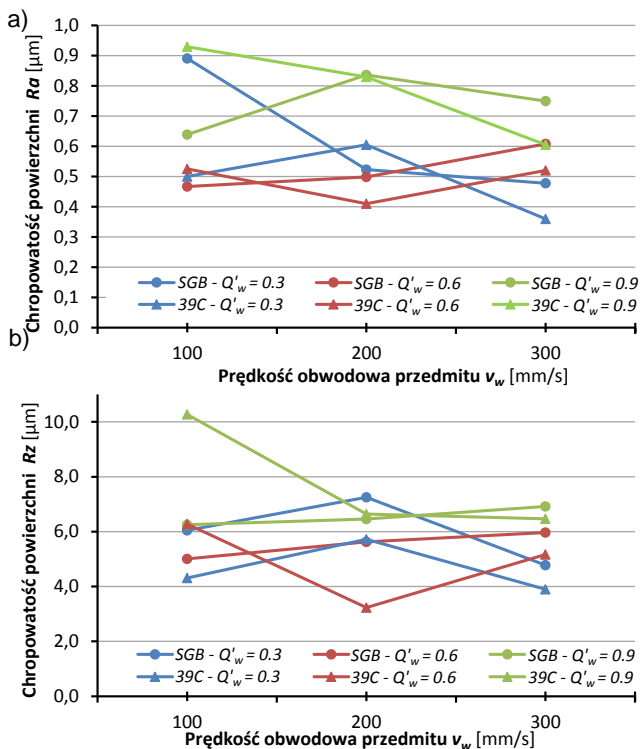
Na rysunku 3 przedstawiono zmiany parametrów chropowatości Ra i Rz powierzchni dla ściernicy 39C i SGB w funkcji prędkości obwodowej ściernicy v_s dla prędkości obwodowej przedmiotu $v_w = 300 \text{ mm/s}$. Najniższą chropowatość powierzchni opisaną parametrem Ra i Rz uzyskano dla ściernicy 39C przy $Q'_w = 0,3 \text{ mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ i $v_s = 40 \text{ m/s}$ (rys. 3a), oraz (rys. 3b) przy $Q'_w = 0,9 \text{ mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ i $v_s = 40 \text{ m/s}$. Znaczący wzrost chropowatości zaobserwowano przy obu ściernicach po przekroczeniu prędkości skrawania $v_s > 40 \text{ m/s}$. W większości przypadków niższe wartości chropowatości uzyskano dla ściernicy 39C.

Na rysunku 4, przedstawiono zmiany parametrów chropowatości Ra i Rz dla zastosowanych ściernic przy prędkości skrawania $v_s = 40 \text{ m/s}$ w funkcji prędkości przedmiotu v_w dla różnych wydajności objętościowych Q'_w . Z rysunku 4a wynika, że dla ściernicy 39C przy prędkości obwodowej przedmiotu $v_w = 300 \text{ mm/s}$ i $Q'_w = 0,3 \text{ mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ uzyskano najniższą chropowatość opisaną parametrem Ra natomiast

najniższą chropowatości opisaną parametrem Rz uzyskano dla $v_w = 200$ mm/s i $Q'_w = 0,6$ mm³/(mm·s).



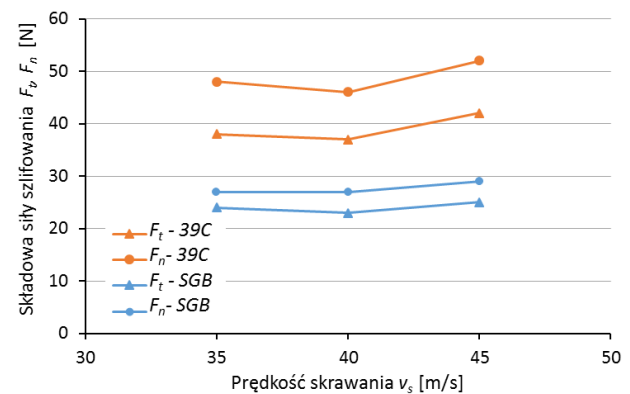
Rys. 3. Zależność chropowatości Ra i Rz szlifowanej powierzchni od prędkości skrawania v_s i wydajności objętościowych szlifowania Q'_w przy prędkości obwodowej przedmiotu $v_w = 300$ (m/s) dla ściernicy 39C i SGB



Rys. 4. Zależność chropowatości Ra i Rz szlifowanej powierzchni od prędkości obwodowej przedmiotu v_w dla różnych wydajności objętościowych Q'_w przy prędkości skrawania $v_s = 40$ m/s dla obu ściernic

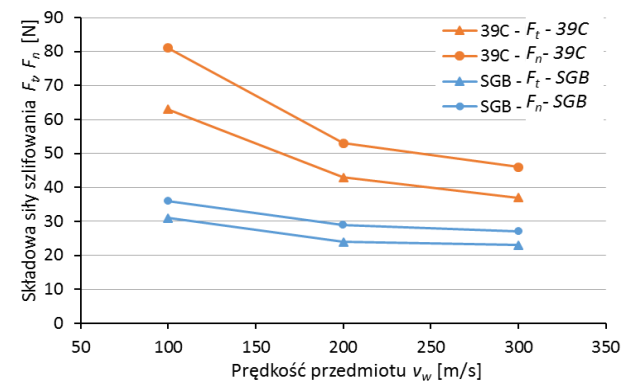
Na rysunku 5 przedstawiono zmiany składowych siły szlifowania w funkcji prędkości skrawania dla ściernicy 39C i SGB. Na podstawie przedstawionych charakterystyk można

stwierdzić, że wartości składowych siły szlifowania dla ściernicy 39C nieznacznie maleje w zakresie prędkości skrawania $v_s = 35 \div 40$ m/s i znacząco wzrasta po przekroczeniu $v_s > 40$ m/s. Natomiast przy zastosoaniu ściernicy SGB (rys. 5) składowe siły szlifowania praktycznie pozostają na niezmiennym poziomie.

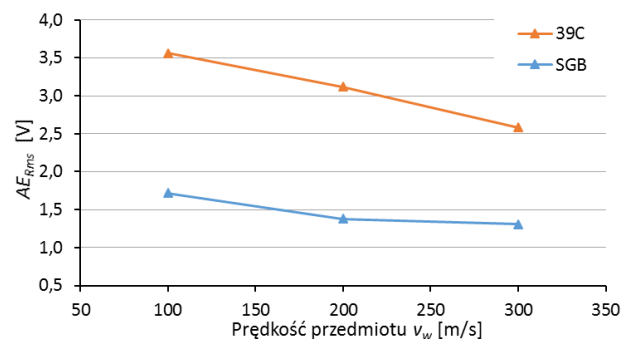


Rys. 5. Zmiany składowych siły szlifowania w funkcji prędkości skrawania v_s dla: $v_w = 100$ mm/s i $Q'_w = 0,6$ mm³/(mm·s)

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono zmiany składowych siły szlifowania oraz wartości skutecznej sygnału emisji akustycznej AE_{rms} w funkcji prędkości obwodowej przedmiotu v_w dla ściernicy 39C i SGB. Na podstawie przedstawionych charakterystyk można stwierdzić, że wartości składowych siły szlifowania i wartość skutecznej sygnału emisji akustycznej AE_{rms} dla obu ściernic znacząco maleją wraz ze wzrostem prędkości przedmiotu v_w .



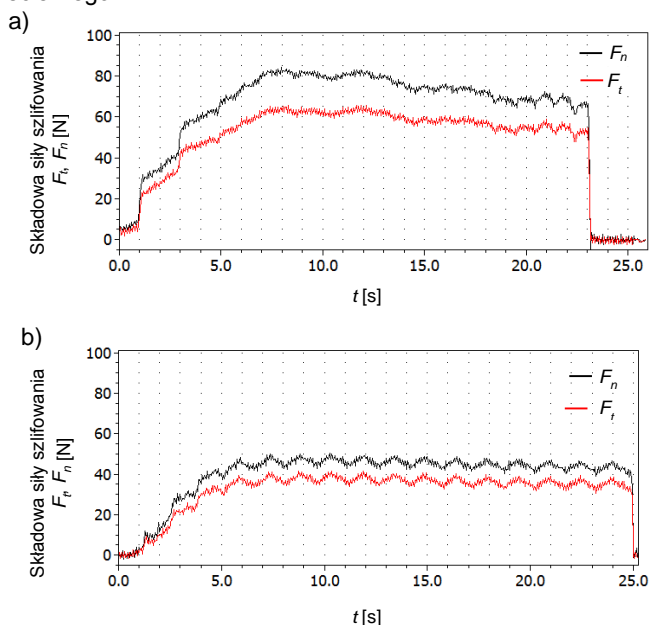
Rys. 6. Zmiany składowych siły szlifowania w funkcji prędkości przedmiotu v_w dla: $v_s = 40$ mm/s i $Q'_w = 0,9$ mm³/(mm·s)



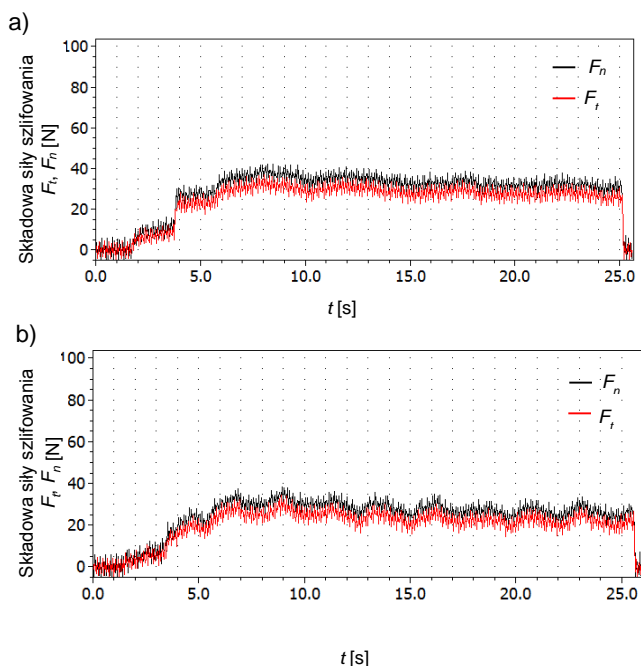
Rys. 7. Zmiany wartości skutecznej AE_{rms} w funkcji prędkości przedmiotu v_w dla: $v_s = 40$ mm/s i $Q'_w = 0,9$ mm³/(mm·s)

Na rysunku 8 przedstawiono przebiegi składowej normalnej i stycznej siły podczas szlifowania dla parametrów $v_s = 40$ m/s, $v'_w = 100$ mm/s i $v'_w = 300$ mm/s oraz $Q'_w = 0,9$ mm³/(mm·s). Na rysunku 8a przedstawiono przebiegi składowej siły szlifowania dla ściernicy 39C

i $v_w = 100$ mm/s, charakter wykresu może świadczyć o zachodzącym w pierwszej fazie procesie zalepiania się ściernicy i późniejszym jej samoostrzeniu. Z analizy wykresu wynika również iż wraz z rozpoczęciem etapu samoostrzenia składowa normalna i styczna maleje. Natomiast dla $v_w = 300$ mm/s (rys. 8b) przebieg obu składowych siły szlifowania jest stabilny co może świadczyć o prawidłowym przebiegu procesu. Odmienny charakter przebiegu składowych sił szlifowania przedstawiono na rysunku 9a i 9b, dla ściernicy SGB i prędkości przedmiotu $v_w = 100$ mm/s oraz $v_w = 300$ mm/s. Podczas szlifowania ściernicą SGB przebieg obu składowych siły szlifowania świadczy o zachodzącym procesie mikro wykruszania ziaren ściernicy i samoostrzenia się narzędzia ściernego.



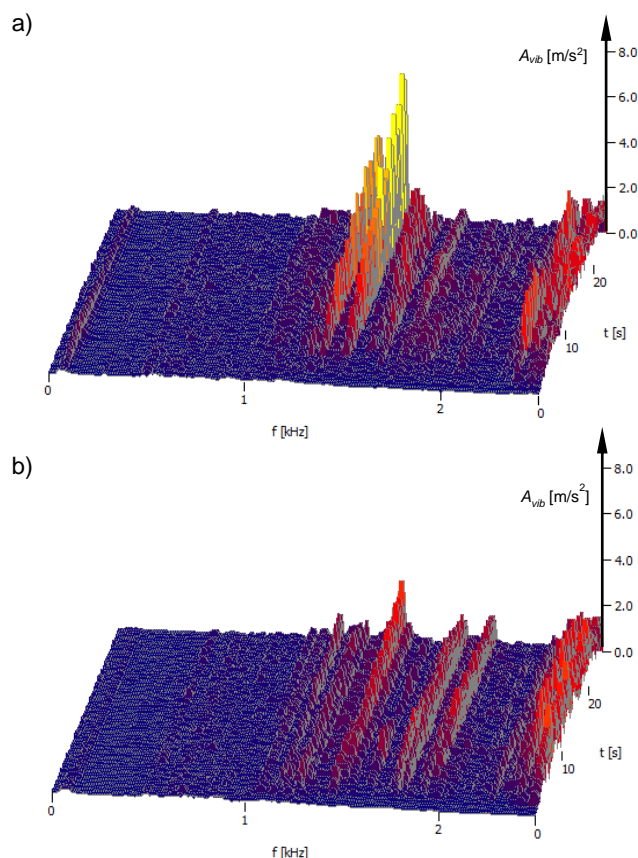
Rys. 8. Przebieg składowych siły szlifowania F_t i F_n przy prędkości skrawania $v_s = 40$ m/s i wydajności objętościowej szlifowania $Q'_w = 0,90$ mm³/(mm·s) dla ściernicy 39A: a) przy prędkości obwodowej przedmiotu $v_w = 100$ mm/s, b) przy prędkości obwodowej przedmiotu $v_w = 300$ mm/s



Rys. 9. Przebieg składowych siły szlifowania F_t i F_n przy prędkości skrawania $v_s = 40$ m/s, i wydajności objętościowej szlifowania $Q'_w = 0,6$ mm³/(mm·s) dla ściernicy SGB: a) przy prędkości obwodowej przedmiotu $v_w = 100$ mm/s, b) przy prędkości obwodowej przedmiotu $v_w = 300$ mm/s

$Q'_w = 0,90$ mm³/(mm·s) dla ściernicy 39A: a) przy prędkości obwodowej przedmiotu $v_w = 100$ mm/s, b) przy prędkości obwodowej przedmiotu $v_w = 300$ mm/s

Na rysunku 10a przedstawiono przykładowe zmiany widma drgań na kle konika dla ściernicy 39C. Znaczny wzrost drgań w zakresie całej próby może świadczyć o nieprawidłowo wytypowanych parametrach kinematycznych procesu lub zastosowaniu zbyt twardej ściernicy czemu towarzyszył zachodzący proces zalepiania się ściernicy i utrata właściwości skrawanych. Natomiast rysunek 10b przedstawia widmo drgań na kle konika dla ściernicy SGB. Charakter uzyskanego przebiegu może świadczyć o stabilnym przebiegu procesu i zachodzącym procesie samoostrzenia ściernicy.



Rys. 10. Widmo drgań na kle konika przy prędkości skrawania $v_s = 40$ m/s, prędkości obwodowej przedmiotu $v_w = 300$ mm/s i wydajności objętościowej szlifowania $Q'_w = 0,9$ mm³/(mm·s) dla ściernicy: a) 39C, b) SGB

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych w zakresie wpływu parametrów kinematycznych procesu szlifowania jak również rodzaju materiału ściernego ściernicy na wynikowe parametry obróbki można stwierdzić, że:

1. Dla ściernicy 39C54MVS uzyskano dużo niższe wartości chropowatości niż dla ściernicy SBB60KVX.
2. Ściernica SGB podczas szlifowania stopu Nickel 201 ulega przy wszystkich parametrach kinematycznych procesowi nadmiernemu wykruszaniu w wyniku czego następuje utrata kształtu.
3. zmiana prędkości obwodowej przedmiotu v_w ma znaczący wpływ na otrzymaną chropowatość powierzchni.
4. Zalecane parametry kinematyczne procesu szlifowania dla ściernicy 39C54MVS powinny wynosić $v_s = 40$ m/s, $Q'_w = 0,6$ mm³/(mm·s) i $v_w = 200$ mm/s co znalazło potwierdzenie zarówno w uzyskanej chropowatości przedmiotu jak i wartościach składowych siły szlifowania.

5. Ściernica SGB60KVX szlifuje stabilnie w pełnym zakresie przebadanych parametrów kinematycznych procesu, jednakże uzyskane parametry chropowatości są niższe aniżeli w przypadku ściernicy 39C.
6. Wzrost prędkości skrawania v_s dla przebadanych ściernic powyżej 40 m/s powoduje znaczący wzrost składowych siły szlifowania jak również pogorszenie parametrów wynikowych szlifowanej powierzchni.

Podziękowanie

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. Bibus Metals Karta katalogowa Nickel 201 W. nr 2.4061/2.4068
2. Burek J., Babiarczyk R., Żyłka Ł. „Nadzorowanie procesu szlifowania wgłębnego z wykorzystaniem sygnału emisji akustycznej”. *Mechanik*. Nr 8-9/2015. (2013). s. 66÷76/700.
3. Inasaki I., Karpuszewski B., Lee H., Grinding chatter – origin and suppression. *Annals of the CIRP*, Vol. 50/2, 515-535, 2001.
4. Karpuszewski B., Wehmeier M., Inasaki I. “Grinding monitoring system based on power and acoustic emission sensors”. *Annals of the CIRP*. Vol. 49/1. (2000). s. 235÷240.
5. Lajmert P., Kruszyński B., Wrąbel D. „Identyfikacja wczesnych symptomów niepożądanych stanów procesu w szlifowaniu kłowym wałków” XXXIV Naukowa Szkoła Obróbki Ścierniej, 2011.
6. Lajmert P., Kruszyński B., Wrąbel D., Sikora M. „Stanowisko do wieloaspektowego badania procesu szlifowania kłowego wałków”. *Mechanik*, Nr 8-9/2013. (2013), s. 273÷282/703.
7. 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.
8. Oczko K., Porzycki J., Szlifowanie. WNT Warszawa, 1986.
9. Sikora M., Lajmert P., Ostrowski D., Kruszyński B.: „Szlifowanie stopów niklu na szlifierce kłowej”. *Mechanik*. Nr 8-9/2014. (2014), s. 289÷292/727.
10. Sikora M., Ostrowski D., Kruszyński B., Lajmert P.: „Wpływ warunków obróbki stopu Inconel 718 na efekty procesu szlifowania”. *Mechanik*. Nr 8-9/2015. (2015). s. 715/300÷303.
11. Tso P. “Study on the grinding of Inconel 718”. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 55, 421-426, 1995.
12. 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.
13. 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.
14. Wójcik R., Rosik R. :Proces szlifowania niklu”. *Mechanik*. Nr 8-9/2013. (2013). s. 456÷465/706.
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. Żyłka Ł., Babiarczyk R., Ostrowski R. „Wpływ parametrów obciążania rolką kształtową na chropowatość szlifowanej powierzchni zamka łopaty silnika lotniczego”. *Mechanik*. Nr 8-9/2013. (2013). s 508÷515/706.