



Szlifowanie brązu krzemowego BK31 na szlifierce kłowej do wałków

Grinding of silicon bronze BK31 on cylindrical grinding machine

PAWEŁ LAJMERT
BOGUSŁAW PISAREK
WOJCIECH STACHURSKI
PIOTR ZGÓRNIAK
BOGDAN KRUSZYŃSKI
TADEUSZ PACYNIAK *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.376

W artykule zaprezentowano badania szlifowania brązu krzemowego BK31 dla różnych warunków obróbki. Próby wykonano na szlifierce kłowej do wałków z zastosowaniem dwóch ściernic. Przeprowadzono analizę wpływu warunków obróbki na zmiany składowych sił szlifowania, temperatury szlifowania oraz emisji akustycznej. W końcowej części pracy przedstawiono wpływ warunków obróbki na chropowatość szlifowanych przedmiotów.

SŁOWA KLUCZOWE: brąz krzemowy, szlifowanie cylindryczne, monitorowanie

In the paper grinding process has been studied in the machining of silicon bronze BK31 alloy for different grinding conditions. Grinding tests has been done on cylindrical grinding machine with the use of two kinds of grinding wheels. An analysis was carried out to investigate the influence of grinding conditions on the grinding force components, grinding temperatures and acoustic emission signal. In the end, the influence of grinding conditions on workpiece surface roughness, is presented.

KEYWORDS: silicon bronze, plunge grinding, monitoring

Szlifowanie brązów nie jest powszechnie spotykanym procesem obróbkowym, w przeciwieństwie do obróbki takich materiałów jak np. stal, żeliwo, czy stopy tytanu lub niklu [7,

8, 10]. Jednak w przypadkach, gdy zależy nam na uzyskaniu odpowiedniej dokładności wymiarowo-kształtowej oraz jakości warstwy wierzchniej obrabianych przedmiotów, szlifowanie brązów wydaje się być w pełni uzasadnione.

W dostępnej literaturze niewiele jest pełnych danych na temat warunków szlifowania brązów, co dotyczy także brązów krzemowych. Zalecenia jakie można znaleźć dotyczą przede wszystkim doboru ściernic. W pracy [2] wskazano, że do większości zastosowań najbardziej odpowiednimi ściernicami są te z ziarnem elektrokorundowym. Jedyny wyjątek stanowi szlifowanie miękkich stopów, gdzie zaleca się stosowanie ściernic karborundowych (węgiel krzemowy). W obu przypadkach zalecono wykorzystanie ściernic ze spoiwem ceramicznym, o średniej twardości – od J do N. Powyższe zalecenia częściowo potwierdzają inne opracowania, np. [13]. Zawarte tam wskazówki nakazują szlifowanie brązów zarówno ściernicami elektrokorundowymi, jak i karborundowymi. Jednocześnie autorzy wskazują na fakt, że w przypadku ściernic elektrokorundowych, dokładny rodzaj ściernicy należy dopasować indywidualnie do zadania obróbkowego. Znacznie mniej uwagi poświęca się z kolei wpływowi warunków obróbki i kondycjonowania ściernicy na obrabialność brązów.

W związku z powyższym zasadne jest poznanie wpływu warunków obróbki na przebieg i parametry wynikowe procesu szlifowania brązów krzemowych. Ponadto z powodu zużywania się narzędzia ściernego konieczne jest ciągłe monitorowanie stanu procesu w celu modyfikacji warunków obróbki lub w ostateczności podjęcia decyzji o kondycjonowaniu ściernicy. W procesie szlifowania monitorowaniu mogą podlegać różne wielkości towarzyszące procesowi szlifowania. Możliwe jest przy tym wyznaczenie pojedynczej

* Prof. dr hab. inż. Bogdan Kruszyński (bogdan.kruszynski@p.lodz.pl), Dr inż. Paweł Lajmert (pawel.lajmert@p.lodz.pl), Dr inż. Wojciech Stachurski (wojciech.stachurski@p.lodz.pl), Dr inż. Piotr Zgórniak (piotr.zgorniak@p.lodz.pl) – Instytut Obrabiarek i TBM Politechniki Łódzkiej, Dr hab. inż. Bogusław Pisarek (boguslaw.pisarek@p.lodz.pl), Prof. dr hab. inż. Tadeusz Pacyniak – Katedra Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji Politechniki Łódzkiej

lub zbioru cech skorelowanych ze stanem narzędzia ściernego lub parametrami warstwy wierzchniej szlifowanych przedmiotów. I tak, w systemach monitorowania procesów szlifowania do estymacji zdolności skrawnej ściernicy może być wykorzystany pomiar mocy lub siły szlifowania [4, 5, 7]. Z kolei sygnały drgań i emisji akustycznej AE (ang. *acoustic emission*) są powiązane z procesami skrawania i dlatego mogą być użyte do estymacji chropowatości szlifowanej powierzchni, parametrów czynnej powierzchni ściernicy CPS lub identyfikacji niepożądanych stanów procesu, takich jak drgania samowzbudne [5], czy uszkodzenia cieplne przedmiotu [4, 6].

W niniejszej pracy przedstawiono wpływ dwóch rodzajów ściernic o spoiwie ceramicznym oraz parametrów kinematycznych szlifowania na wybrane wielkości towarzyszące procesowi szlifowania oraz wybrane parametry chropowatości szlifowanych przedmiotów.

Opis brązu krzemowego CuSi3Mn1 (BK31)

Brązy krzemowe zawierają 2,5÷4,5% Si oraz stosunkowo niewielkie ilości: Mn, Zn, Fe, (ograniczających rozpuszczalność krzemu w roztworze stałym) [3]. Wprowadzenie do brązu odpowiednio: Mn – podnosi właściwości antykorozyjne brązów krzemowych, Zn – polepsza ich lejność, Fe – zwiększa wytrzymałość. Brązy krzemowe charakteryzują się dobrymi właściwościami mechanicznymi w temperaturze otoczenia i w temperaturze do 300 °C. Posiadają w szczególności dobrą wytrzymałość zmęczeniową, dobre właściwości ślizgowe, dużą odporność na korozję, a przy tym dobrą skrawalność i lejność. Będąc przedmiotem badań w niniejszej pracy brąz krzemowy CuSi3Mn1 (BK31) zawiera 2,7÷3,5% krzemu i 1,0÷1,5% manganu, przy zanieczyszczeniach nie przekraczających 1,0%. Stosowany jest między innymi na elementy sprężyste, elementy w przemyśle chemicznym, elementy odporne na ścieranie, konstrukcje spawane [12].

W tabeli 1 przedstawiono skład chemiczny badanego brązu krzemowego CuSi3Mn1.

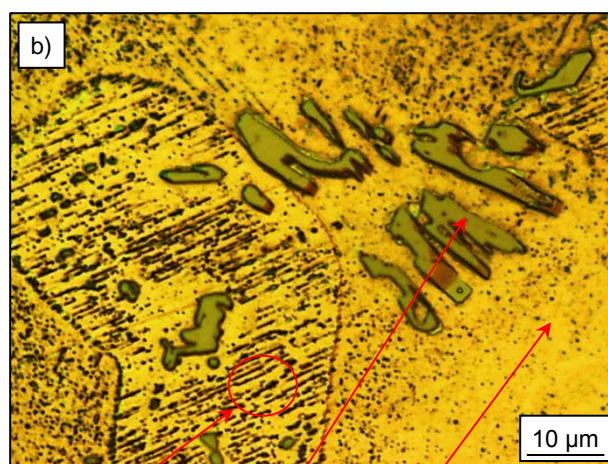
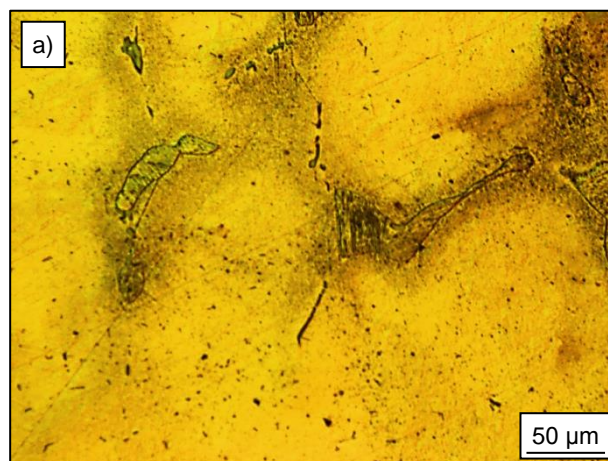
Tab. 1. Skład chemiczny brązu CuSi3Mn1 (BK31)

Skład chemiczny [%]				
Zn	Pb	Sn	Mn	Fe
0,043	0,008	0,007	1,030	0,224
Ni	Si	Al	Cu	Inne
0,004	3,40	0,077	95,1	reszta

Brąz wytapiano w piecu indukcyjnym tyglowym o częstotliwości 3,5 kHz w tyglu AC20 z węgla krzemu. W celu wytworzenia atmosfery obojętnej nad lustrem metalu na powierzchnię wsadu metalowego nasypywano węgiel drzewny. Ciekłym stopem o temperaturze 1250±10 °C zalewano formę piaskową z masy wilgotnej. W formie tej odlewano walec o średnicy 80 mm i wysokości 100 mm.

Na rys. 1 przedstawiono mikrostrukturę brązu CuSi3Mn1. Mikrostruktura badanego brązu złożona jest z krystalizującego dendrytycznie roztworu stałego α . W przestrzeniach międzycystrytycznych fazy α , nasyconych przede wszystkim krzemem, występują niewielkie obszary eutektoidu $\alpha+\gamma$ powstałego z rozpadu fazy κ . Zarówno w obszarze roztworu α , jak i eutektoidu $\alpha+\gamma$ występują lokalne wydzielenia złożonej międzymetalicznej fazy typu $Fe_xSi_yCu_z$.

Średnia twardość badanego brązu odlewane do formy wilgotnej wynosi 87,5±2,96 HB.



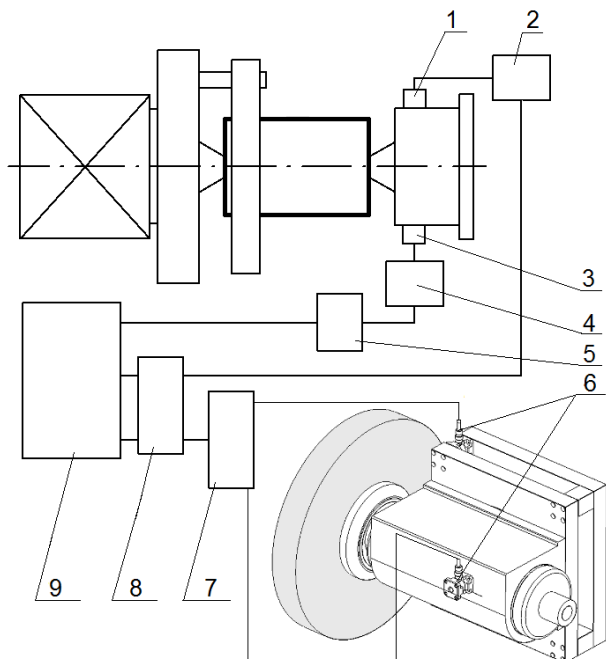
Eutektoid $\kappa \rightarrow \alpha + \gamma$ Złożona faza żelazowa typu α $FeSiCu$

Rys. 1. Mikrostruktura brązu krzemowego CuSi3Mn1 (a,b): $\alpha + (\alpha + \gamma) + FeSiCu$

Opis stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze zbudowano w oparciu o zmodernizowaną szlifierkę kłową do wałków Tacchella [9]. System sterowania numerycznego szlifierki zbudowano z wykorzystaniem sterownika PLC Mitsubishi. Działanie wszystkich układów pomiarowych oparto o komputer PC wyposażony w odpowiednie karty akwizycji danych National Instruments. Układ monitorowania procesu szlifowania obejmuje pomiar składowych siły szlifowania, drgań i emisji akustycznej. Ponadto dla wybranych warunków szlifowania rejestrowano temperaturę z użyciem kamery termowizyjnej Flir. Do oceny stanu przedmiotu po obróbce wykorzystano chropowatościomierz Mitutoyo L-210. Do oceny stanu ściernicy (stopnia zalepienia) wykorzystano kamerę mikroskopową. Do pomiaru składowych siły szlifowania zastosowano piezoelektryczne trzyosiowe czujniki siły firmy Kistler 9317B. Czujniki te umieszczono pomiędzy korpusem obudowy wrzeczona ściernicy a korpusem obrotnicy szlifierki. Układ pomiarowy pozwala na rejestrację składowej stycznej siły szlifowania jak i składowej dynamicznej w zakresie częstotliwości do około 2 kHz. Równoległe z pomiarami siły szlifowania dokonywane były pomiary sygnału drgań i emisji akustycznej. Do pomiaru sygnału drgań zastosowano trzyosiowe czujniki drgań Kistler 8763B umieszczone na kle konika i obudowie wrzeczona ściernicy. Składowe siły szlifowania i sygnały drgań w kierunku normalnym i stycznym rejestrowane były w sposób ciągły z częstotliwością 40 kHz. Do pomiaru sy-

gnału emisji akustycznej zastosowano czujnik Kistler 8152B121, który przymocowano do kła konika szlifierki. Zakres pomiarowy zastosowanego czujnika emisji zawiera się w przedziale częstotliwości od około 100 kHz do 900 kHz.

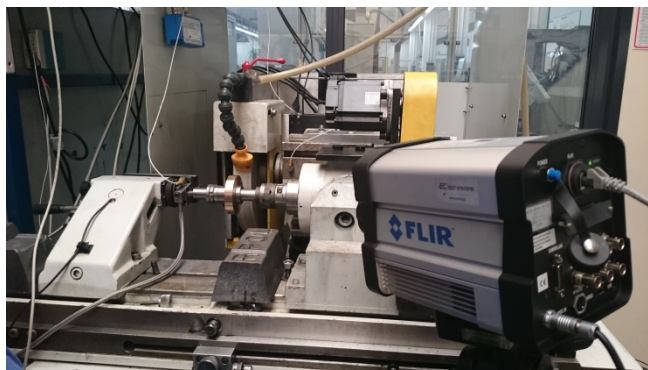


Rys. 2. Struktura układów pomiarowych stanowiska badawczego: 1, 2 – czujnik drgań i wzmacniacz, 3, 4 – czujnik emisji akustycznej i wzmacniacz, 5 – karta akwizycji danych USB 6366, 6, 7 – czujniki siły oraz wzmacniacz, 8 - karta akwizycji danych USB 6351, 9 – komputer PC

Sygnal 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. Sygnal ten jest 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 w sposób ciągły z częstotliwością 2 MHz.

■ Tor pomiaru temperatury przedmiotu

Głównym elementem toru pomiarowego temperatury była naukowa kamera termowizyjna FLIR SC6000HS wraz z komputerem przenośnym [11]. Widok ogólny stanowiska ze sposobem ustawienia kamery przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Widok ogólny szlifierki do wałków wraz z przedmiotem obrabianym i kamerą termowizyjną Flir SC6000HS

Do rejestracji sekwencji zdjęć termowizyjnych wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie Research IR firmy FLIR. Zdjęcia termiczne były wykonywane z rozdzielczością 640x512 pikseli.

Warunki przeprowadzonych badań

Badania doświadczalne przeprowadzono w celu ustalenia przydatności dwóch rodzajów ściernic o spoiwie ceramicznym do szlifowania brązu krzemowego BK31 oraz w celu ustalenia wpływu warunków obróbki na przebieg procesu i parametry chropowatości powierzchni szlifowanych przedmiotów. W przeprowadzonych próbach szlifowano próbki w postaci pierścieni o średnicy 70 mm i szerokości 15 mm mocowanych na trzpieniu. Badania przeprowadzono z użyciem konwencjonalnej ściernicy ceramicznej z ziarnem z elektrokorundu szlachetnego 38A60K5VBE Norton oraz ściernicy z ziarnem mikrokryształicznym 3HA060J8V114 Molemax.

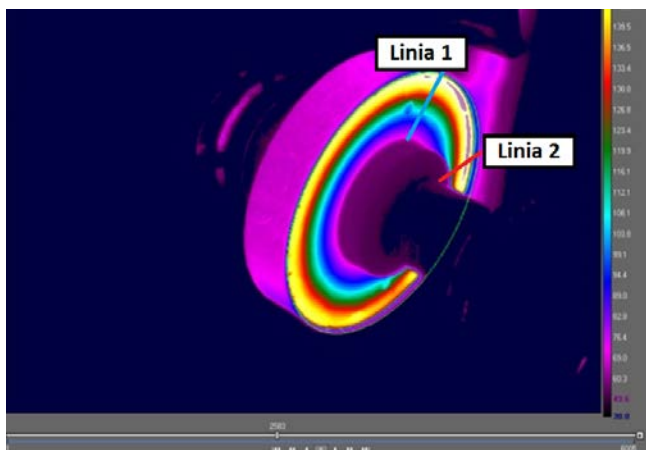
Badania realizowano dla różnych wydajności objętościowych szlifowania Q'_w i różnych prędkości obwodowych przedmiotu v_w wynoszących 50, 100, 200 i 400 mm/s. We wszystkich próbach szlifowania zmieniano ponadto prędkość skrawania v_s na pięciu poziomach wynoszących 10, 15, 20, 25 i 35 m/s. Zakres zmian prędkości skrawania ustalono na podstawie przeglądu literatury [6, 8] i wstępnych prób szlifowania sugerując się wyników parametrami geometrii szlifowanej powierzchni oraz wartościami sił skrawania i emisji akustycznej. Szlifowano w cyklach szlifowania składających się z dosuwu roboczego bez wyiskrzania i szybkiego odskoku, każdorazowo zbierając naddatek V'_w o wielkości około 20 mm³/mm.

W procesie kondycjonowania ściernicy przyjęto wstępnie prędkość obwodową ściernicy równą 25 m/s, dosuw kondycjonowania ściernicy a_d wynoszący 10 μ m i posuw wzdłużny kondycjonowania v_{fd} równy 30 mm/min. Jako chłodziwo zastosowano 3% wodny roztwór emulsji syntetycznej Mobilcut 321.

Celem badań eksperymentalnych było również ustalenie wpływu prędkości szlifowania v_s na temperaturę obrabianego przedmiotu. W tym celu przeprowadzono badania wstępne służące do określenia wykorzystywanych zakresów temperaturowych w celu jak najlepszego odzwierciedlenia rozkładu temperatury w głąb przedmiotu obrabianego. Na ich podstawie dobrano trzy podzakresy temperaturowe. Podzakres pierwszy obejmował temperatury w zakresie od 50 do 150 °C, drugi temperatury wykalibrowane w zakresie od 80 do 200 °C, a trzeci w zakresie od 150 do 350 °C. W celu uzyskania poprawnych wartości temperatury próbka na swojej bocznej powierzchni została pomalowana czarną, matową farbą o znanym współczynniku emisyjności wynoszącym $\epsilon=0,92$ [1]. Aby można było rejestrować temperatury przedmiotu w zakresie od 80 do 350 °C zastosowano metodę dynamicznego rozszerzenia zakresu pomiarowego. Klatki zapisywano z częstotliwością 100 Hz dla każdego podzakresu. Każda próba trwała 60 sekund co w konsekwencji dawało 1200 klatek dla pojedynczego testu. Próby były wykonywane w dwóch wariantach tj. z chłodzeniem oraz bez chłodzenia. Do weryfikacji wpływu prędkości szlifowania wzięto pod uwagę próby bez chłodzenia, gdyż wpływ cieczy chłodząco smarującej utrudniał poprawne określenie rozkładu temperatur szlifowania.

W celu określenia wpływu prędkości szlifowania wyznaczano maksymalne temperatury wzdłuż linii 1 i 2 umieszczonych promieniowo na bocznej powierzchni obrabianego przedmiotu, zobacz rys. 4. Linie nr 1 (kolor czerwony) umieszczono w miejscu styku ściernicy z przedmiotem ob-

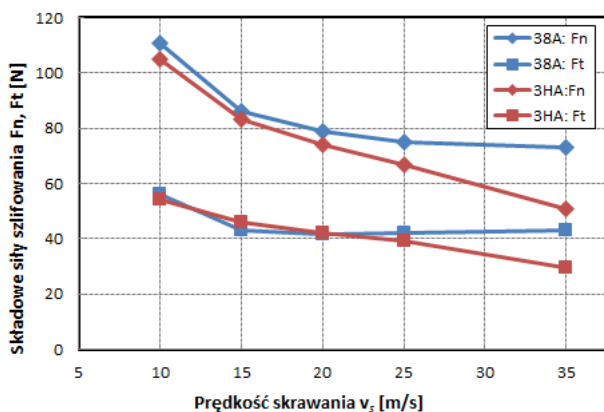
rabianym natomiast linia 2 (kolor niebieski) była położona w ten sposób, że jej początek umieszczono w początku osi najdłuższej elipsy w widoku przedmiotu z kamery.



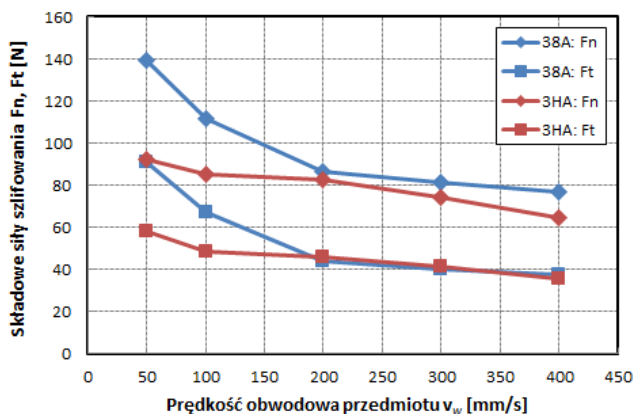
Rys. 4. Widok rozkładu temperatury obrabianego przedmiotu wraz z położeniem linii 1 i 2 wzdłuż których wyznaczano rozkład temperatury szlifowanego przedmiotu

Wyniki badań

Na rys. 5 i 6 przedstawiono odpowiednio zmiany składowych siły szlifowania w funkcji prędkości skrawania i prędkości obwodowej przedmiotu.



Rys. 5. Zmiany składowych siły szlifowania w funkcji prędkości skrawania v_s , ($Q'_w=0.5\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$, $v_w=200\text{mm/s}$)

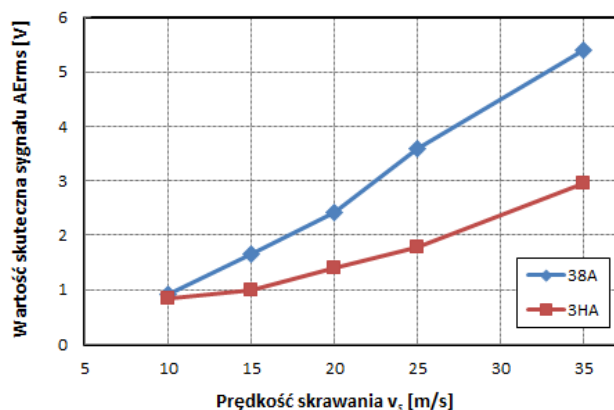


Rys. 6. Zmiany składowych siły szlifowania w funkcji prędkości obwodowej przedmiotu v_w , ($Q'_w=0.5\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$, $v_s=16\text{m/s}$)

Widać, że wartości składowych siły szlifowania maleją w funkcji obu parametrów kinematycznych szlifowania. Przy

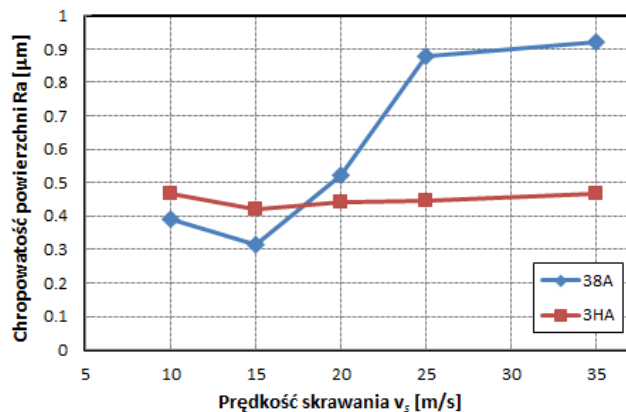
czym dla prędkości obwodowej przedmiotu wpływ ten jest bardziej widoczny dla ściernicy elektrokorundowej 38A.

Z kolei na rys. 7 przedstawiono wpływ prędkości skrawania na wartość skuteczną sygnału emisji akustycznej AE_{rms} dla obu zastosowanych ściernic. Widać, że wraz ze wzrostem prędkości skrawania wartość skuteczną AE_{rms} rośnie, w szczególności w przypadku ściernicy elektrokorundowej 38A. Wzrost sygnału AE_{rms} może świadczyć o przewadze zjawisk związanych z mikrodeformacją i tarciami zachodzącym w obrabianym materiale co może powodować generowanie wyższych temperatur w strefie styku ściernicy z przedmiotem. Ponadto wzrost poziomu AE_{rms} może świadczyć o zachodzących procesach mikrowykruszania się ziaren spowodowanych wyższą temperaturą w strefie skrawania i w efekcie większym obciążeniem cieplnym narzędzia ściernego. W przypadku ściernicy elektrokorundowej efektem tego może być szybsze zużycie narzędzia.



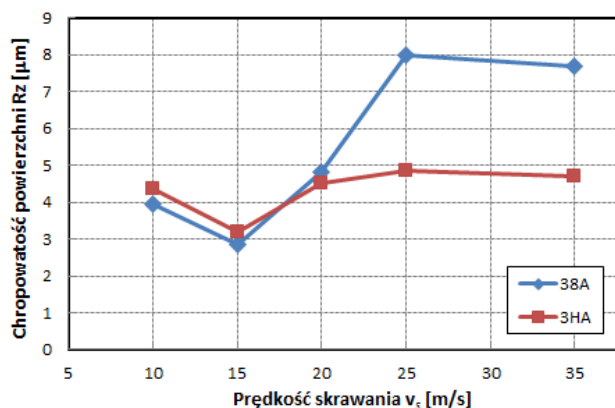
Rys. 7. Zmiany wartości skutecznej AE_{rms} w funkcji prędkości skrawania v_s , ($Q'_w=0.5\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$, $v_w=200\text{mm/s}$)

Na rys. 8 i 9 przedstawiono zmiany parametrów chropowatości R_a i R_z szlifowanej powierzchni w funkcji prędkości skrawania v_s . W przypadku parametru R_a widoczny jest jego wzrost w funkcji prędkości skrawania v_s szczególnie dla ściernicy elektrokorundowej. Ponadto dla prędkości skrawania v_s poniżej 20 m/s zastosowanie ściernicy elektrokorundowej pozwala uzyskać znacznie mniejsze wartości parametru R_a .



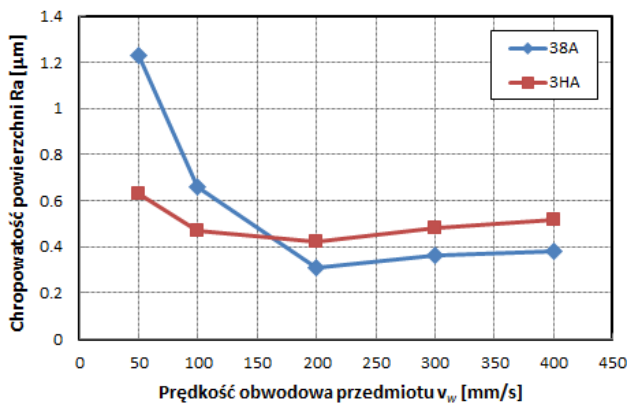
Rys. 8. Wpływ prędkości skrawania v_s na parametr R_a chropowatości powierzchni, ($Q'_w=0.5\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$, $v_w=200\text{mm/s}$)

W przypadku parametru chropowatości R_z widać, iż maleje on wraz ze spadkiem prędkości skrawania. Najniższe wartości parametrów chropowatości można uzyskać dla obu rodzajów ściernic dla niskich prędkości skrawania poniżej 20 m/s.

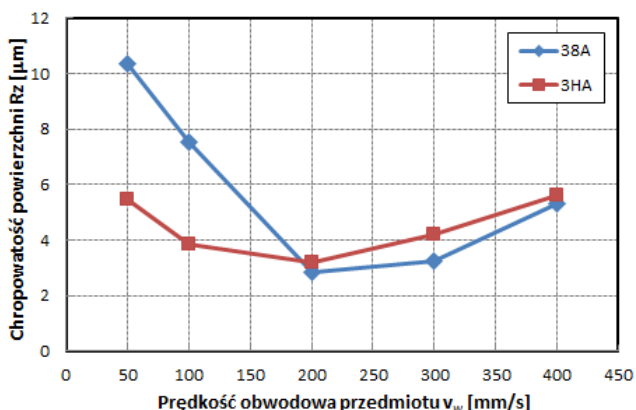


Rys. 9. Wpływ prędkości skrawania v_s na parametr Rz chropowatości powierzchni, ($Q'_w=0.5\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$, $v_w=200\text{mm/s}$)

Na rysunkach 10 i 11 przedstawiono z kolei zmiany parametrów chropowatości Ra i Rz w funkcji prędkości obwodowej przedmiotu v_w . Z przedstawionych rysunków widać, że chropowatość powierzchni ulega zmniejszeniu wraz ze zmniejszeniem prędkości obwodowej przedmiotu dla obu zastosowanych ściernic. Optymalna prędkość v_w wynosi około 200 mm/s.



Rys. 10. Wpływ prędkości obwodowej przedmiotu v_w na parametr Ra chropowatości powierzchni, ($Q'_w=0.5\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$, $v_s=16\text{m/s}$)

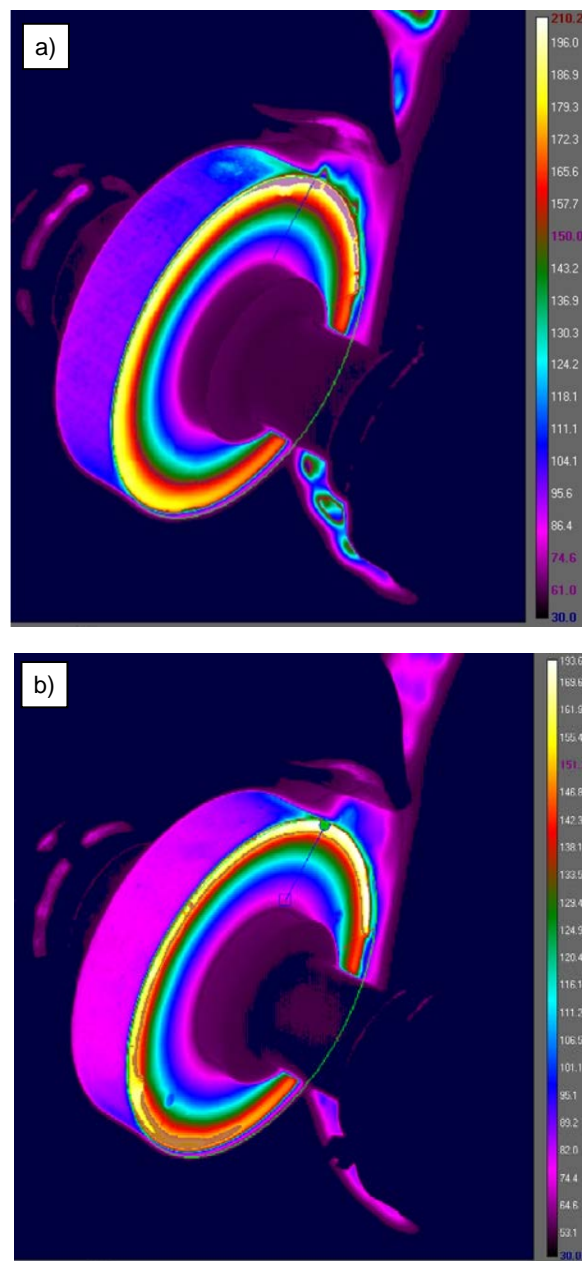


Rys. 11. Wpływ prędkości obwodowej przedmiotu v_w na parametr Rz chropowatości powierzchni, ($Q'_w=0.5\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$, $v_s=16\text{m/s}$)

W przypadku niskich prędkości obwodowych przedmiotu wzrost parametrów chropowatości spowodowany jest wzrostem temperatury skrawania. Wzrost parametrów chropowatości powyżej prędkości obwodowych przedmiotu 300 mm/s spowodowany jest pracą w strefie niestabilnej szlifowania ze względu na drgania samowzbudne przedmiotu [5, 7].

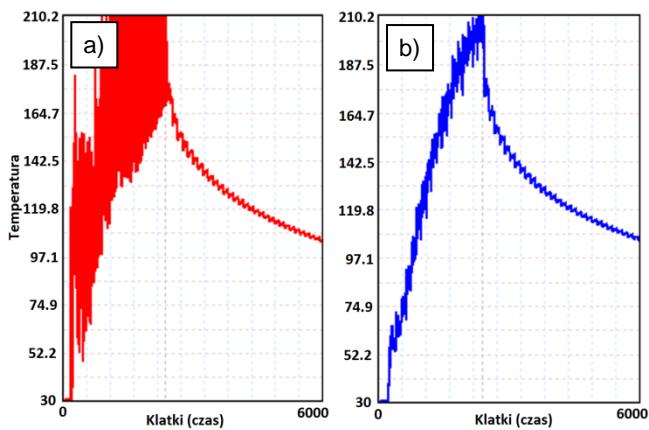
Wyniki pomiaru temperatury przedmiotu

Po wykonaniu rejestracji sekwencji zdjęć termicznych dla różnych poziomów prędkości szlifowania v_s określono temperatury maksymalne na styku ściernicy z przedmiotem obrabianym na linii 1 i 2. Przykładowe widoki zdjęć termicznych szlifowanego przedmiotu dla prędkości skrawania odpowiednio $v_s = 35\text{ m/s}$ i 15 m/s zaprezentowano na rys. 12. Widać, że dla niższej prędkości skrawania temperatura przedmiotu jest niższa.



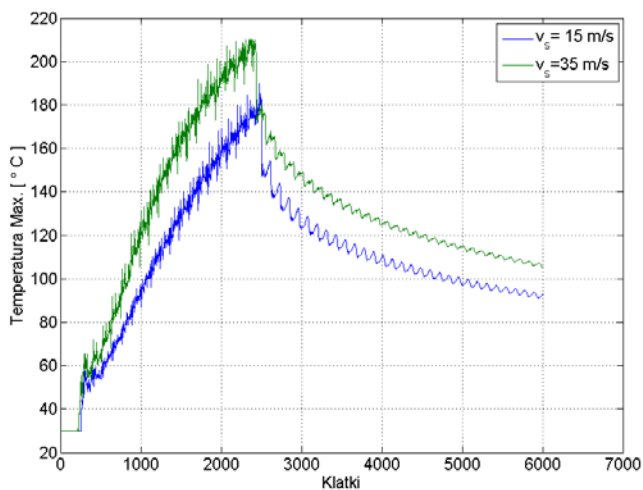
Rys. 12. Zdjęcie termowizyjne obrabianego przedmiotu dla: a) prędkości skrawania $v_s=35\text{m/s}$; b) prędkości skrawania $v_s=15\text{m/s}$

Na rys. 13 przedstawiono przebiegi maksymalnej temperatury odczytanej z linii 1 i 2. Dokonując porównania obu wykresów stwierdzono, że do oceny wpływu prędkości szlifowania będą brane pod uwagę wyniki uzyskiwane z linii nr 2. Co do wartości, wyniki temperatur się zgadzają, lecz są przesunięte względem siebie ze względu na inną pozycję. Wyniki uzyskane z linii 2 nie są obciążone błędami związanymi z pojawianiem się wiórów o wyższej temperaturze przekraczającej skalibrowany zakres pomiarowy kamery termowizyjnej.



Rys. 13. Wykresy temperatur maksymalnych odczytanych: a) z linii 1 i b) z linii 2 dla całej sekwencji zdjęć termicznych dotyczących $v_s = 35$ m/s.

Na rys. 14 przedstawiono przebiegi maksymalnej temperatury przedmiotu odczytanej z linii 2 dla prędkości skrawania $v_s = 15$ i 35 m/s. Widoczny jest spadek temperatury maksymalnej przy niższej prędkości skrawania.



Rys. 14. Porównanie temperatur maksymalnych dla różnych prędkości skrawania

Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań doświadczalnych szlifowania brązu krzemowego BK31 można wyciągnąć następujące wnioski:

- Zwiększenie prędkości skrawania powoduje zmniejszenie siły szlifowania, jednakże z powodu wzrostu temperatury skrawania prowadzi do wzrostu parametrów R_a i R_z chropowatości przedmiotu, co wpływa na wzrost błędów geometrii szlifowanych przedmiotów. W przypadku ściernicy elektrokorundowej i mikrokryształicznej optymalna prędkość skrawania wynosi około 15 m/s.
- W celu zmniejszenia wynikowej chropowatości szlifowanej powierzchni należy stosować odpowiednio wysokie prędkości obrotowe przedmiotu, tj. powyżej 150 mm/s, ograniczone jednak strefą niestabilną szlifowania ze względu na drgania samowzbudne przedmiotu (szczególnie podczas szlifowania przedmiotów wiotkich).

Na podstawie wyników uzyskanych z kamery termowizyjnej potwierdzono możliwość wykonywania analiz temperatury podczas szlifowania bez chłodzenia. W przypadku

zastosowania chłodzenia zalewowego nie udało się przeprowadzić analizy temperatur, na podstawie których można by wyciągnąć wiarygodne wnioski. Główną przyczyną tych trudności jest zmienna, trudna do określenia emisyjność czynnika chłodzącego. Ponadto zmienne położenie cieczy chodzącej w kolejnych klatkach rejestrowanego obrazu powodowała dodatkowe trudności w uzyskaniu poprawnych i wiarygodnych wyników. Zmiana położenia cieczy chłodząco smarującej oraz trudna do określenia emisyjność powodowała, iż w miejscach w których temperatura powinna być niższa, ze względu na obecność czynnika chłodzącego, na zdjęciach termicznych miała wartość wyższą.

W dalszych pracach badawczych sugeruje się porównanie wyników uzyskanych podczas szlifowania na sucho oraz tych z wykorzystaniem cieczy chłodząco-smarującej i przeprowadzenie bardziej zaawansowanych analiz uzyskanych wyników.

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. Bramson M.A., Infrared Radiation - A Handbook for Applications. Nowy Jork, Plenum Press, 1967.
2. Davies J.R., Copper and copper alloys. ASM International, USA, 2001.
3. Górny Z., Sobczak J., Nowoczesne tworzywa odlewnicze na bazie metali nieżelaznych. ZA-PIS, Kraków, 2005.
4. Hundt W., Leuenberger D., Rehsteiner F., Gyagax P., An approach to monitoring of the grinding process using acoustic emission (AE) technique. Annals of the CIRP, vol. 43/1, 295-298, 1994.
5. Inasaki I., Karpuszewski B., Lee H., Grinding chatter – origin and suppression. Annals of the CIRP, Vol. 50/2, 515-535, 2001.
6. Kruszyński B.W., Luttermelt C.A. van., Prediction of temperature and surface integrity in gear grinding. Int. Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 34/5, 633-640, 1994.
7. Lajmert P., Kruszyński B., Wrąbel D., Identyfikacja wczesnych symptomów niepożądanych stanów procesu w szlifowaniu kłowym wałków. XXXIV Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, 2011.
8. Lajmert P., Ostrowski D., Sikora M., Kruszyński B. Szlifowanie stopów tytanu na szlifierce kłowej do wałków; Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej XXXVII; Mechanik, nr 8/9, 245-248, 2014.
9. Lajmert P., Ostrowski D., Sikora M., Kruszyński B. Stanowisko do badania procesu szlifowania wgłębnego wałków; XV Krajowa VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna METROLOGIA W TECHNIKACH WYTWARZANIA; Mechanik, nr 8/9, 195-202, 2014.
10. Sikora M., Lajmert P., Ostrowski D., Kruszyński B. Szlifowanie stopów niklu na szlifierce kłowej do wałków; Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej XXXVII; Mechanik, nr 8/9 2014, s. 289-292, ISSN: 0025-6552
11. Zgórniak P., Grduńska A., Investigation of temperature distribution during milling process of AZ91HP magnesium alloys. Mechanics and Mechanical Engineering, vol. 16/1, 33-40, 2012.
12. The copper advantages. A guide to working with copper and copper alloys. www.antimicrobialcopper.com
13. Choosing The Right Grinding Wheel. www.mmsonline.com