

Wpływ prędkości szlifowania na topografię powierzchni po procesie szlifowania stopu tytanu

The influence of the grinding speed on the state of the surface layer in the grinding process of Titanium Alloy

Radosław Rosik
Anna Grdulska*

W artykule przedstawiono analizę wpływu prędkości obwodowej ściernicy na topografię powierzchni obrabianej, przy stałej głębokości szlifowania a_p oraz prędkości posuwu przedmiotu v_w . Dokonano analizy wpływu rzeczywistej głębokości skrawania oraz przebiegu składowych sił (stycznej F_t oraz normalnej F_n) na stan warstwy wierzchniej przy trzech prędkościach szlifowania. Uzyskane wyniki badań pomogą przy doborze optymalnych warunków szlifowania stopów tytanu TIGR5.

SŁOWA KLUCZOWE: Szlifowanie, prędkość szlifowania, struktura powierzchni, materiał ścierny, stopy tytanu

The article presents an analysis of the influence of the tangential velocity of the grinding wheel on the topography of the machined surface at a constant depth of grinding a_p and feed speed of the subject v_w . An analysis of the influence of the actual depth of cut and run components of forces (tangential F_t and normal F_n) on the state of the surface layer for three grinding speed was performed. The results help to choose the optimal conditions for grinding titanium alloy TIGR5.

KEYWORDS: Grinding, grinding speed, structural surface, abrasive tool, Titanium alloys

Obróbka szlifowaniem stanowi jedną z najważniejszych metod kształtowania elementów maszyn i urządzeń. Wskutek zmian wynikających z konieczności spełniania coraz większych wymagań jakościowych rozwój przemysłu zmusza producentów do ciągłego ulepszania procesów produkcyjnych tak, by oferowane przedmioty były lepszej jakości, zarówno pod względem wymiarowym, jak i dokładności wykonania. Na jakość wytwarzanych przedmiotów wpływa

między innymi stan warstwy wierzchniej (WW).

W zaawansowanych technologicznie procesach wytwórczych duży nacisk kładzie się na funkcjonalność powierzchni oraz precyzyjne skrawanie. Brane są tutaj pod uwagę takie właściwości funkcjonalne, jak: wytrzymałość zmęczeniowa i stykowa, szczelność i dokładność połączeń, odporność na zużycie i korozję. Podczas projektowania różnych konstrukcji należy brać pod uwagę nie tylko tolerancję kształtowo-wymiarową, ale także zależność między stanem geometrycznym powierzchni, a jej funkcjonalnością. Metrologia stereometrycznych cech powierzchni jest na tyle rozwinięta, że inżynierowie mogą przewidzieć jak będzie zachowywała się dana powierzchnia we współpracy z inną oraz czy spełni założone funkcje podczas eksploatacji.

Z różnych źródeł literaturowych [5,6] jednoznacznie wynika, że decydujące znaczenie mają parametry amplitudowe (czyli wysokościowe) z grupy 12 S-parametrów oraz parametry funkcjonalne z grupy 13 V-parametrów.

Dodatkowo na ukształtowanie powierzchni obrabianego detalu wpływa szereg czynników, pośród których należy wymienić zjawiska cieplne i mechaniczne. Powstające podczas procesu siły szlifowania są ściśle związane z tarciem, czyli energią przetwarzaną podczas procesu szlifowania. W związku z czym niezwykle istotne podczas obróbki są parametry procesu szlifowania: prędkość przedmiotu - v_w , głębokość szlifowania - a_p oraz prędkość ściernicy - v_s , które wpływają na jakość warstwy wierzchniej. Badania eksperymentalne przeprowadzone w różnych jednostkach naukowych dowodzą, że decydujące znaczenie na stan czynnej powierzchni ściernicy mają: rodzaj obciążacza oraz parametry kształtowania CPS [9]. Zastosowane narzędzia ściernie (wielkość i rodzaj ziaren), typ spoiwa wpływają w dużym stopniu na jakość warstwy wierzchniej szlifowanej próbki [3].

Coraz większa popularność stopów tytanu w przemyśle lotniczym, spożywczym, medycznym, itp. powodują narasta-

* dr inż. Radosław Rosik (radek.rosik@p.lodz.pl), Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn, Politechnika Łódzka.
mgr inż. Anna Grdulska (anna.grdulska@p.lodz.pl), Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn, Politechnika Łódzka.

jące zainteresowanie obróbką tych materiałów. W dobie szerokiego zainteresowania stopami tytanu inżynierowie dbają, by powstałe z nich elementy maszyn i urządzeń charakteryzowały się dobrymi właściwościami eksploatacyjnymi. Zwraca się szczególną uwagę, by stan warstwy wierzchniej oraz funkcjonalność powierzchni (wytrzymałość zmęczeniowa i stykowa, odporność na zużycie i korozję, odporność na działanie środowiska kwaśnego) spełniały wymagania rynku. Może to być utrudnione z uwagi na niekorzystne właściwości stopów tytanu, pośród których wymieniać należy dużą aktywność chemiczną, małą przewodność cieplną oraz skłonność do przylepiania się mikrowiórów do narzędzi ściernych [15]. W wielu ośrodkach badawczych prowadzone są próby szlifowania trudnoskrawalnych stopów tytanu z udziałem nowoczesnych materiałów ściernych, jak również metod chłodzenia z uwzględnieniem różnych płynów chłodząco-smarujących [2, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 17]. Badania takie obejmują pomiary stanu warstwy wierzchniej i określenie jej wpływu na funkcjonalność elementów.

W niniejszym artykule przedstawiono fragment badań dotyczących wpływu prędkości obwodowej ściernicy v_s na wartość składowych sił skrawania oraz strukturę geometryczną obrabianej powierzchni stopu tytanu TIGR5. Brano pod uwagę parametry 2D i 3D chropowatości powierzchni oraz poddano analizie nośność powierzchni.

Warunki badań

Warunki szlifowania

Badania realizowano na szlifierce do płaszczyzn firmy Jotes typu SPD-30, z wykorzystaniem ściernicy 5TGP 54K VX. Udział ziarna ściernego obejmuje 50% submikrokrystalicznego korundu spiekane TG (iloraz średnicy ziarna do jego długości wynosi 1:5), 50% elektrokorundu chromowego CrA. Wykorzystane ziarna są średniej twardości (K). Tarczę ścierną wykonano ze spoiwa ceramicznego (VX).

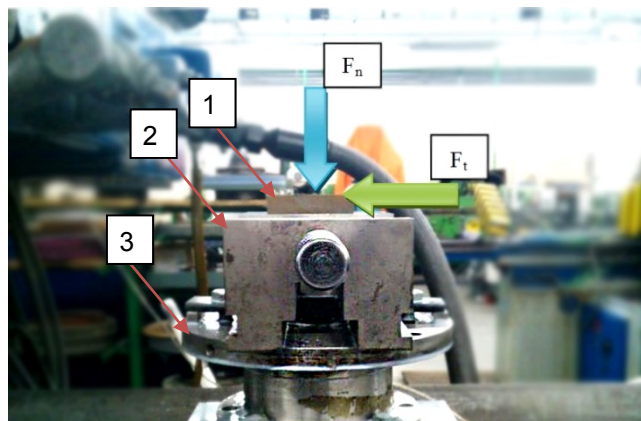
Zakres badań obejmował szlifowanie wstępne próbek płaskich o wymiarach 100x10x10 mm wykonanych ze stopu tytanu TIGR5. Proces szlifowania realizowano z następującymi parametrami nastawnymi:

- prędkość posuwu przedmiotu $v_w = 0,2$ m/s
- głębokość szlifowania $a_p = 0,01$ mm
- prędkości szlifowania: $v_{s1} = 17$ m/s, $v_{s2} = 24$ m/s, $v_{s3} = 30$ m/s.

Do oceny procesu szlifowania posłużono się przebiegami składowych sił szlifowania F_n i F_t . Sprawdzone ponadto jak wielkości charakteryzujące dany proces wpływają na parametry chropowatości powierzchni R_a i R_z . Dokonano również wnikliwej analizy topografii powierzchni, na podstawie której w sposób szczegółowy określono stan WW przedmiotu. Wszystkie w/w czynności wykonywano po każdej próbie szlifowania.

Pomiary sił szlifowania.

W procesie szlifowania rejestrowano przebiegi składowych sił skrawania z zastosowaniem siłomierza piezoelektrycznego firmy Kistler. Pomiar sił następuje w oparciu o zjawisko piezoelektryczne. Rejestracja wyników odbywała się z częstotliwością próbkowania 1000 Hz. Na siłomierzu zainstalowano precyzyjny uchwyt szlifierski do mocowania próbek płaskich (rys. 1).

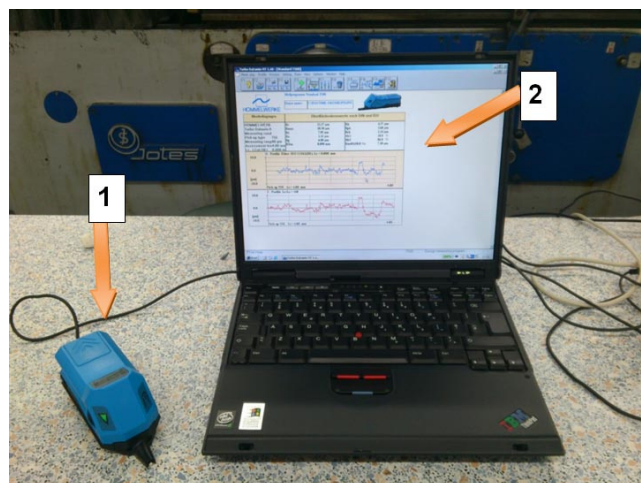


Rys. 1. Stanowisko do pomiaru sił z zaznaczonymi kierunkami działania sił składowych F_n i F_t , 1 - szlifowana próbka, 2 - precyzyjne imadło szlifierskie, 3 - siłomierz Kistler.

Podczas procesu szlifowania zastosowano chłodzenie metodą zalewową. Użyto do tego wodorociekłego chłodziwa syntetycznego Estramet firmy Agip.

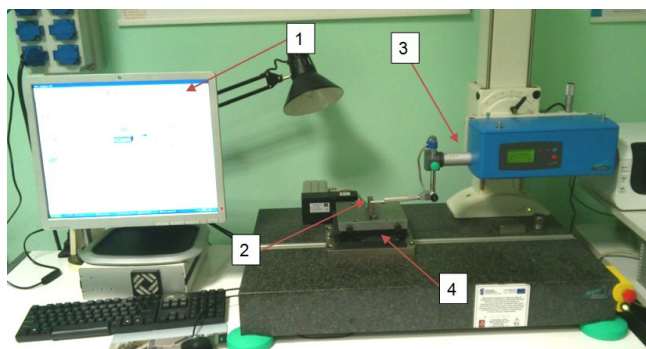
Pomiary chropowatości i topografii powierzchni 3D

Do pomiaru chropowatości wykorzystano przenośny profilografometr firmy Hommel model T500 (2D). Dane z przyrządu pomiarowego za pomocą przewodu i złącza RS232 przesyłane były do komputera. Przy użyciu oprogramowania TDW-NT, załączonego przez producenta, dane pomiarowe były zapisywane, przetwarzane i prezentowane w postaci tabel i wykresów (rys.3). Pomiar chropowatości powierzchni dokonywano bezpośrednio na stanowisku badawczym bez zdejmowania próbki z uchwytu. Przeprowadzono pomiar chropowatości na powierzchni próbki w czterech miejscach, w równych odległościach prostopadłe do kierunku szlifowania.



Rys. 2. Stanowisko do pomiaru chropowatości: 1 - profilografometr firmy Hommel model T500, 2 - komputer z oprogramowaniem

Do pomiaru topografii przestrzennej powierzchni (3D) wykorzystano profilografometr firmy Hommel model Turbo-Waveline60 z igłą diamentową o promieniu $r_{tip} = 5\mu m$. Ocene cech stereometrycznych chropowatości przeprowadzono wykorzystując oprogramowanie załączone przez producenta Homel Map 4.1. Stanowisko pomiarowe przedstawione na rys.3.



Rys. 3. Stanowisko pomiarowe do topografii powierzchni: 1 – komputer wraz z oprogramowaniem, 2 – mierzona próbka, 3 – profilografometr TurboWaveline60, 4 – przesuwny stolik.

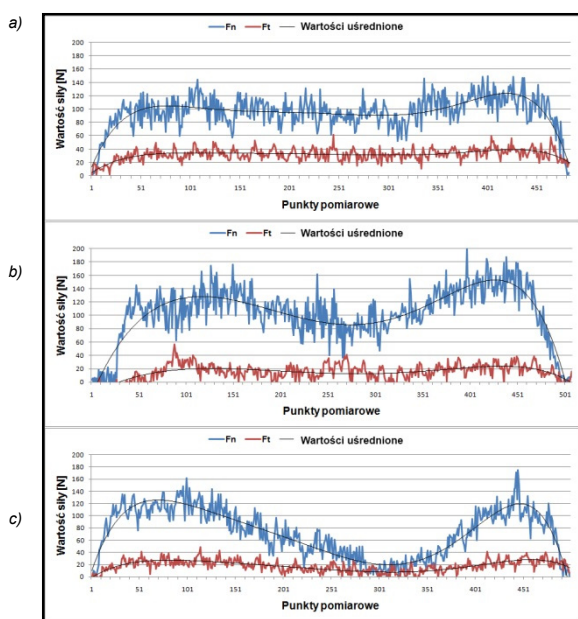
Pomiar topografii powierzchni próbki był przeprowadzony na długości 40 mm, który został podzielony na odcinki co 1 mm. Długość mierzonej powierzchni była ograniczona możliwością przemieszczenia stolika pomiarowego, który wynosił 45 mm. W jednej sekwencji dokonano 41 pomiarów.

Topografia powierzchni ma decydujące znaczenie, gdy chodzi o jej funkcjonalność i współpracę części. Szczególną uwagę zwrócono na wizualizację cech profilu oraz topografii powierzchni, co jest niezbędne do oceny struktury geometrycznej powierzchni i jej przydatności w różnych warunkach eksploatacyjnych [4,7].

Wyniki badań

Wyniki pomiarów wartości sił

Przeprowadzone badania umożliwiły określenie wpływu prędkości szlifowania na stan warstwy wierzchniej podczas szlifowania stopu tytanu TIGR5. Wyniki badań pokazały, że dla przyjętych parametrów procesu szlifowania wartości składowej siły stycznej F_t oraz normalnej F_n zmieniały się w zależności od v_s . Na rys.4 przedstawiono zarejestrowane przebiegi składowej siły: normalnej F_n oraz stycznej F_t uzyskane podczas próby szlifowania z udziałem syntetycznego płynu chłodząco-smarującego Estramet podawanego metodą zalewową.

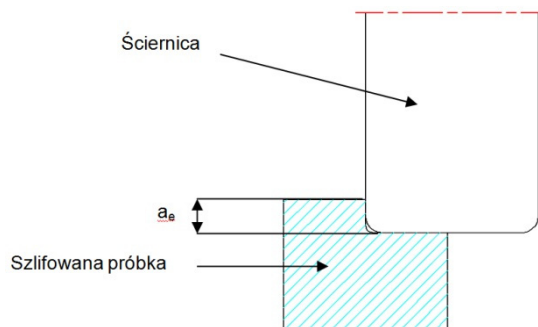


Rys. 4. Przebiegi wartości siły normalnej F_n oraz stycznej F_t w zależności od prędkości szlifowania: a) $v_{s1} = 17$ m/s, b) $v_{s2} = 24$ m/s, c) $v_{s3} = 30$ m/s.

Analizując przebiegi sił na rys. 4 można zaobserwować, że prędkość skrawania miała znaczący wpływ na wartości składowych sił F_n i F_t , występujących w trakcie obróbki. Podczas szlifowania próbki ze stopu tytanu TIGR5 przy prędkości $v_{s1} = 17$ m/s zarejestrowano najmniejsze wartości składowej siły normalnej. Wzrost prędkości szlifowania powodował, że za każdym razem otrzymywano równe przebiegi składowych sił, co świadczyło o zbieraniu takiego samego nadkładu na długości próbki. Natomiast przy prędkości szlifowania v_{s2} i v_{s3} otrzymywano zakłócone przebiegi, wyższe wartości składowych sił F_n . Wynikiem tego był nierównomierny rozkład nadkładu szlifierskiego, spowodowany odkształceniem próbki [16]. Przy prędkości szlifowania v_{s1} przebiegi sygnału były powtarzalne, a linia trendu nie miała znacznych odchyżeń od linii prostej. Natomiast wzrost prędkości od v_{s2} do v_{s3} wprowadzał zakłócenia nadkładu, co powodowało zmienne i losowe wartości sił, które były mało stabilne. Linia trendu odbiegała od linii prostej.

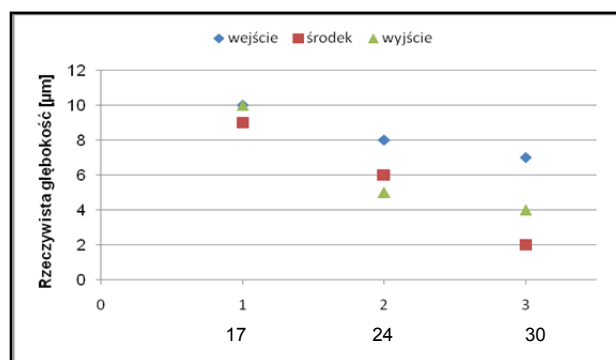
Wpływ prędkości szlifowania v_s na rzeczywistą głębokość szlifowania

Analizę rzeczywistej głębokości skrawania przeprowadzono dla trzech prędkości szlifowania. Powierzchnie próbki zabieleno, następnie ściernicę ustawiono względem próbki tak, aby uzyskać na jednej połowie bazę, co ilustruje rys. 5. Powierzchnie szlifowano wgłębnie w jednym przejściu. Po szlifowaniu zmierzono topografię 2D i 3D powierzchni na profilografometrze TurboWave60. Próbkę ustawiono tak, aby odcinek pomiarowy przebiegał przez dwie powierzchnie – bazową oraz szlifowaną. Następnie z otrzymanych wyników falistości oceniano rzeczywistą głębokość szlifowania.



Rys. 5. Sposób szlifowania próbek do sprawdzenia rzeczywistej głębokości szlifowania a_e .

Rzeczywistą głębokość skrawania przy danej prędkości obrotowej ściernicy oceniano w trzech miejscach: na wejściu ściernicy, po środku próbki oraz na wyjściu ściernicy ze strefy szlifowania. Wyniki pomiaru przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Rzeczywiste wartości głębokości w trzech punktach pomiarowych dla trzech prędkości szlifowania.

Zależność pomiędzy nastawną, a rzeczywistą głębokością szlifowania podczas jednego przejścia głębokoego przy stałej prędkości przedmiotu, wynoszącą $v_w = 0,2$ m/s dla stopu tytanu TIGR5 przy prędkości szlifowania $v_{s1} = 17$ m/s, była bardzo zbliżona. Natomiast przy prędkościach skrawania $v_{s2} = 24$ m/s oraz $v_{s3} = 30$ m/s rzeczywista głębokość szlifowania a_e znacznie się różniła od głębokości nastawnej a_p . Tą zależność odzwierciedlają zapisy przebiegu sił. W miejscu gdzie wykres opada w rzeczywistości ściernica skrawała mniejszą ilość materiału. Na podstawie przebiegu sił można pośrednio kontrolować rzeczywistą głębokość skrawania.

■ Chropowość Ra i Rz

W dalszej części badań doświadczalnych analizowano, jak zmienia się chropowość powierzchni w zależności od prędkości szlifowania. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1.

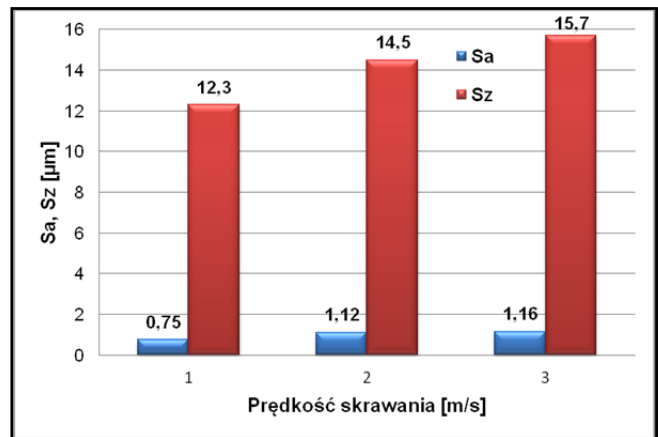
Tab. 1. Wyniki pomiarów chropowości Ra i Rz w zależności od prędkości szlifowania.

	Punkty pomiarowe				Prędkość skrawania
	1	2	3	4	
Ra	0,56	0,53	0,54	0,5	$V_s = 17$ m/s
Rz	4,15	3,42	3,52	3,43	
Ra	0,5	0,56	0,68	0,73	$V_s = 24$ m/s
Rz	3,15	3,73	3,94	4,4	
Ra	0,65	0,48	0,35	0,39	$V_s = 30$ m/s
Rz	3,81	2,95	2,58	2,61	

Analizując zaprezentowane w tabeli 1 wyniki jednoznacznie stwierdzono, że podczas szlifowania stopu tytanu TIGR5 z wykorzystaniem ściernicy nowej generacji 5TGP przy prędkości skrawania $v_s = 17$ m/s wartości chropowości parametru Ra oraz Rz otrzymano na jednych poziomach. Jest to potwierdzenie, że proces szlifowania na całej długości próbki był równomierny. Natomiast dla prędkości $v_s = 24$ m/s w miejscu gdzie wzrastały wartości sił zwiększyły się parametry chropowości Ra i Rz . Dla prędkości szlifowania $v_s = 30$ m/s znaczne odkształcenia cieplne próbki spowodowały duże zmiany w niedokładności skrawania ściernicą 5TGP, co przełożyło się na duże rozbieżności w wynikach pomiaru parametrów chropowości.

■ Topografia amplitudowa powierzchni

Poddając analizie wybrane elementy charakterystyki stereometrycznej powierzchni utworzonej w procesie szlifowania z trzema różnymi prędkościami skrawania, można zauważyć, że najlepszą powierzchnię uzyskano przy najmniejszej prędkości obrotowej ściernicy. Na rys. 7 przedstawiono porównanie wartości parametrów przestrzennych Sa i Sz przy trzech prędkościach skrawania.



Rys. 7. Porównanie wartości parametrów Sa i Sz dla trzech prędkości szlifowania: $v_{s1} = 17$ m/s, $v_{s2} = 24$ m/s, $v_{s3} = 30$ m/s.

Z przeprowadzonych badań podczas szlifowania z prędkością $v_{s1} = 17$ m/s wydzielita się znacznie mniejsza ilość ciepła, w wyniku czego nie zaobserwowano przypaleń powierzchniowych (rys. 8a). Natomiast dla prędkości skrawania z przedziału od v_{s2} do v_{s3} generował wzrost obciążenia cieplnego, wynikiem tego były przypalenia powierzchniowe (rys.8b).

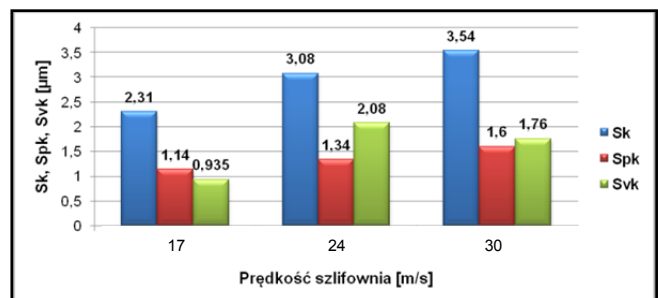


Rys. 8. Widok powierzchni próbki: a) przy szlifowaniu z prędkością $v_{s1} = 17$ m/s, b) przy szlifowaniu z prędkością $v_{s2} = 24$ m/s na której zaobserwowano przypalenia powierzchniowe warstwy wierzchniej.

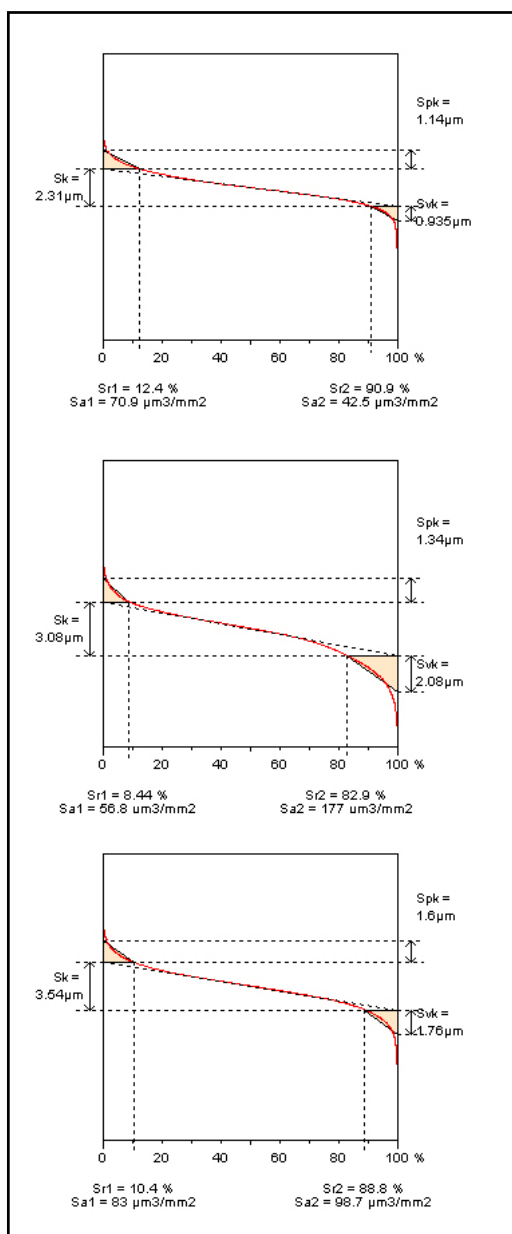
Kolejnym krokiem była ocena właściwości nośnych obrabianych powierzchni przy różnych prędkościach skrawania. Wyznacznikiem nośności powierzchni jest pięć parametrów przestrzennych, takich jak [4,7]:

- Spk - zredukowana wysokość wzniesień,
- Sk - zredukowana wysokość rdzenia,
- Svk - zredukowana głębokość wgłębień,
- $Sr1$ - udział nośny wierzchołków,
- $Sr2$ - udział nośny wgłębień.

Na rys. 9. przedstawiono porównanie wartości parametrów Sk , Spk , Svk . Większa prędkość szlifowania powodowała wzrost parametru Svk (dla $v_{s2} = 24$ m/s $Svk = 2,08$ µm, dla $v_{s3} = 30$ m/s $Svk = 1,6$ µm), a konsekwencji polepszenie utrzymywania płynu w pustkach wgłębień. Wizualizacje rozkładu parametrów udziału materiałowego ilustruje rys.10.



Rys. 9. Porównanie parametrów Sk , Spk , Svk dla trzech prędkości szlifowania stopu tytanu TIGR5.



Rys. 10. Rozkład parametrów udziału materiałowego dla trzech prędkości szlifowania: a) $v_{s1} = 17$ m/s, $v_{s2} = 24$ m/s, $v_{s3} = 30$ m/s.

Analizując kształt krzywej nośności można stwierdzić, że przy prędkości szlifowania $v_{s1} = 17$ m/s uzyskano najmniejszą wartość parametru $Spk = 1,14 \mu m$, co prowadzi do minimalizacji nadmiaru przewidzianego w eksploatacji na docieranie i świadczy o lepszych właściwościach trybologicznych. Mała wartość parametru Spk świadczy o dużej odporności powierzchni na ścieranie.

Podsumowanie

Przeprowadzone prace badawcze pozwoliły ocenić, jak prędkość szlifowania wpływa na topografię powierzchni przedmiotu obrabianego. Do porównania użyto trzech różnych prędkości skrawania. Sprawdzono ponadto, jak zmienne parametry nastawne procesu wpływają na przebiegi składowych sił szlifowania F_n i F_t . W kolejnym etapie analizy powierzchni dokonano pomiaru parametrów chropowatości Ra i Rz , a następnie przeprowadzono szczegółową analizę topografii powierzchni, na podstawie której określono właściwości WW przedmiotu, cechy stereometryczne powierzchni. Zarówno pomiar składowych sił szlifowania, parametrów chropowatości powierzchni Ra i Rz , jak

również analiza amplitudowa powierzchni pokazały, że przy prędkości szlifowania $v_{s1} = 17$ m/s uzyskano najlepszą jakość powierzchni badanej próbki. Przy najniższej zadanej prędkości szlifowania uzyskano najmniejsze wartości parametrów Sa i Sz ($Sa = 0,75 \mu m$, $Sz = 12,3 \mu m$), które świadczą o dokładności obróbki. Krzywe udziału materiałowego potwierdzają, że przy prędkości szlifowania $v_{s1} = 17$ m/s powierzchnia miała większą nośność. Odnotowano także najmniejsze wartości zredukowanej wysokości pików parametru $Spk = 1,14 \mu m$ co oznacza, że zużycie ścierny tej powierzchni w czasie docierania było minimalne. Świadczy to o dużej odporności warstwy wierzchniej na ścieranie. Dzięki czemu pracujące ze sobą elementy będą narażone na mniejsze zużycie podczas eksploatacji urządzeń.

LITERATURA

- Adamczak S., "Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość". Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2008.
- Gołąbczak A., Świącik R., "Elektroerozyjne szlifowanie stopu tytanu". Inżynieria Maszyn vol.12 2007, str.19-28.
- Grduńska A., Rosik R., "Wpływ materiału ściernego na stan warstwy wierzchniej podczas szlifowania stopów tytanu". Mechanik 8-9, 2013
- Grzesik W. "Wpływ obróbki sekwencyjnej na topografię powierzchni stali utwardzonej", Mechanik 5-6 2014, s.350-363.
- Jiang X.J., Whitehouse D.V., "Technological shifts in surface metrology". College International pour la Recherche en Productique (CIRP) - Manufacturing Technology, vol.61/1, 2012, s.815-836.
- Nowicki B., "Struktura geometryczna powierzchni. Chropowatość i falistość powierzchni". Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1991.
- Oczoś K.E., Liubimov V., "Struktura geometryczna powierzchni", Oficyna Wyd. PRz, Rzeszów 2003.
- Rosik R., Korzeniewski H., "Wybór medium obróbkowego dla MQL, a efekty szlifowania stopu tytanu Ti6Al4V". Stal nr 5-6 2014, s. 24-26.
- Rosik R., Świerczyński K., "Wpływ metody MQL na parametry kształtowania czynnej powierzchni ściernicy i chropowatość warstwy wierzchniej przedmiotu obrabianego". Inżynieria Maszyn, Rok 16, zeszyt 1-2, 2011, 175-185.
- Sadeghi M. M., Hadad M.J., Tawakoli T., Vesali A., Emami M., "An investigation on surface grinding of AISI 4140 hardened steel using minimum quantity lubrication – MQL technique". International Journal of Material Forming, 3 2010, s. 241-251.
- Salmon S.C., "Grindings high-tech", Manufacturing Engineering, 143(2009)2, str.53-59.
- Świerczyński J., "Budowa systemu do jednoczesnego podawania kilku mediów chłodząco-smarujących w strefę szlifowania". Mechanik 8-9, 2013.
- Świerczyński J., "Hybrydowa metoda wykorzystywana do chłodzenia strefy skrawania w procesie szlifowania". Mechanik 8-9 2012, str.135-140.
- Świącik R., "Experimental investigation of abrasive electrodischarge grinding of Ti6Al4V titanium alloy". Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2009, 37/2, s.706-711.
- Wójcik R., "The grinding of Titanium Alloys". Archives of Mechanical Technology and Automation, Vol.33 no.4, 2013.
- Wójcik R., "Wpływ strumienia energii szlifowania na wybrane właściwości warstwy wierzchniej". Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej 2006.
- Wójcik R., Rosik R., "Badanie wpływu MQL z użyciem glikolu propylenowego na chropowatość powierzchni przedmiotu szlifowanego". Inżynieria Maszyn, Rok 15, zeszyt 4, 2010, s. 124-131.