

Joanna KOSSAKOWSKA¹

PRZYDATNOŚĆ NARZĘDZI Z PŁYTKAMI SAMOOBROTOWYMI DO OBRÓBKI MATERIAŁÓW TRUDNOBRABIALNYCH

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań w zakresie wykorzystania komercyjnie dostępnych narzędzi SPRT do obróbki materiałów trudnoobrabialnych. Zakres badań obejmował toczenie stali nierdzewnej, stopu tytanu oraz Inconelu 625. Wyniki obróbki w różnych warunkach skrawania wykazały, że zakres pracy narzędzi SPRT różni się od zakresu zalecanego przez producenta, a podczas obróbki mogą pojawić się niepożądane zjawiska, ograniczające zastosowanie narzędzi SPRT. Najważniejszym z nich jest tendencja do zawijania się wióra wokół obracającej się płytki, co może skutkować przywieraniem wióra do powierzchni obrobionej.

1. WSTĘP

W przemyśle lotniczym często stosowane są trudnoobrabialne materiały jak stal nierdzewna, tytan, czy Inconel. Obróbka tych materiałów jest zagadnieniem stosunkowo nowym i stąd brakuje doświadczeń dotyczących najbardziej wydajnych, ekonomicznych warunków skrawania tych materiałów. Podejmowane są różne próby poprawienia wydajności skrawania tych materiałów, przy jednoczesnym zachowaniu trwałości ostrza w rozsądnych granicach. Jednym z pomysłów na wydłużenie czasu skrawania pojedynczym ostrzem jest zastosowanie narzędzi z obrotowymi płytkami (RT). Narzędzia RT dzielimy na narzędzia z samoobrotowymi ostrzami skrawającymi (SPRT – *Self-Propelled Rotary Tools*) lub ostrzami napędzanymi (DRT – *Driven Rotary Tools*). Pierwsze z nich znajdują się obecnie w ofercie firm komercyjnych (Rotary Technologies [7] oraz Mitsubishi Carbide [8]). Narzędzia DRT pozostają w sferze badań laboratoryjnych [1],[2].

Mimo wielu nadziei związanych z narzędziami RT, wstępne próby zastosowania w przemyśle lotniczym handlowo dostępnych narzędzi SPRT przyniosły niezadowalające efekty. Problemy dotyczą głównie powierzchni obrobionej, o czym stanowią nieliczne publikacje. Dla przykładu, o problemie przywierania wiórów do powierzchni obrobionej przy niektórych parametrach skrawania jest wspomniane w [6]. Z kolei o falistości powierzchni, występującej często na skutek obróbki narzędziami SPRT wspomniano w [3], [4],[6]. Brak jednak kompleksowego podsumowania wpływu poszczególnych parametrów skrawania na jakość warstwy wierzchniej, stąd postanowiono przeprowadzić badania

¹ Zakład Automatyzacji, Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem, Wydział Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej

obróbki różnych materiałów za pomocą handlowo dostępnych narzędzi RT, a wyniki prac przedstawiono w niniejszym opracowaniu.

2. ZAKRES BADAŃ

W ramach badań przeprowadzono obróbkę stali nierdzewnej, stopu tytanu Ti6Al4V oraz Inconelu 625 narzędziami typu SPRT firmy Mitsubishi Carbide z płytkami z węglików spiekanych. Zastosowane narzędzia przeznaczone są do obróbki wykończeniowej.

Warunki obróbki dla poszczególnych materiałów przedstawiono w tabeli 1. Do badań zastosowano dwie obrabiarki – konwencjonalną tokarkę TUD50, oraz tokarkę CNC – TKX 50N. W przypadku stali nierdzewnej i Inconelu 625 wybór tokarki uwarunkowany był wielkością przedmiotu. W przypadku stopu tytanu wykonano próby na obu tokarkach, celem porównania wyników obróbki na różnych obrabiarkach. Przy doborze parametrów skrawania sugerowano się parametrami zalecanymi przez Producenta narzędzi. Podstawowym kryterium oceny celowości stosowania danych warunków skrawania była jakość powierzchni obrobionej.

Tabela 1. Warunki skrawania dla poszczególnych materiałów obrabianych
Table 1. Cutting conditions for different materials

	stal nierdzewna	stop tytanu	Inconel 625
tokarka	TUD 50	TUD 50 i TKX 50N	TKX 50N
typ obróbki	tocz. wzdłużne	tocz. wzdłużne i poprzeczne	tocz. poprz.
chłodzenie	NIE	NIE/TAK	TAK
oprawka	RRSDR/L 2525M12	RRSDR 2525M12 i RRSDL 3232P12	RRSDL 3232P12
typ płytki	RDGH 120400-M4	RDGH 120400-M4	RDGH 120400-M4
materiał płytki	US735	US735 i TF15	US735 i TF15
v_c zalecane [m/min]	80	70	40

3. WYNIKI BADAŃ

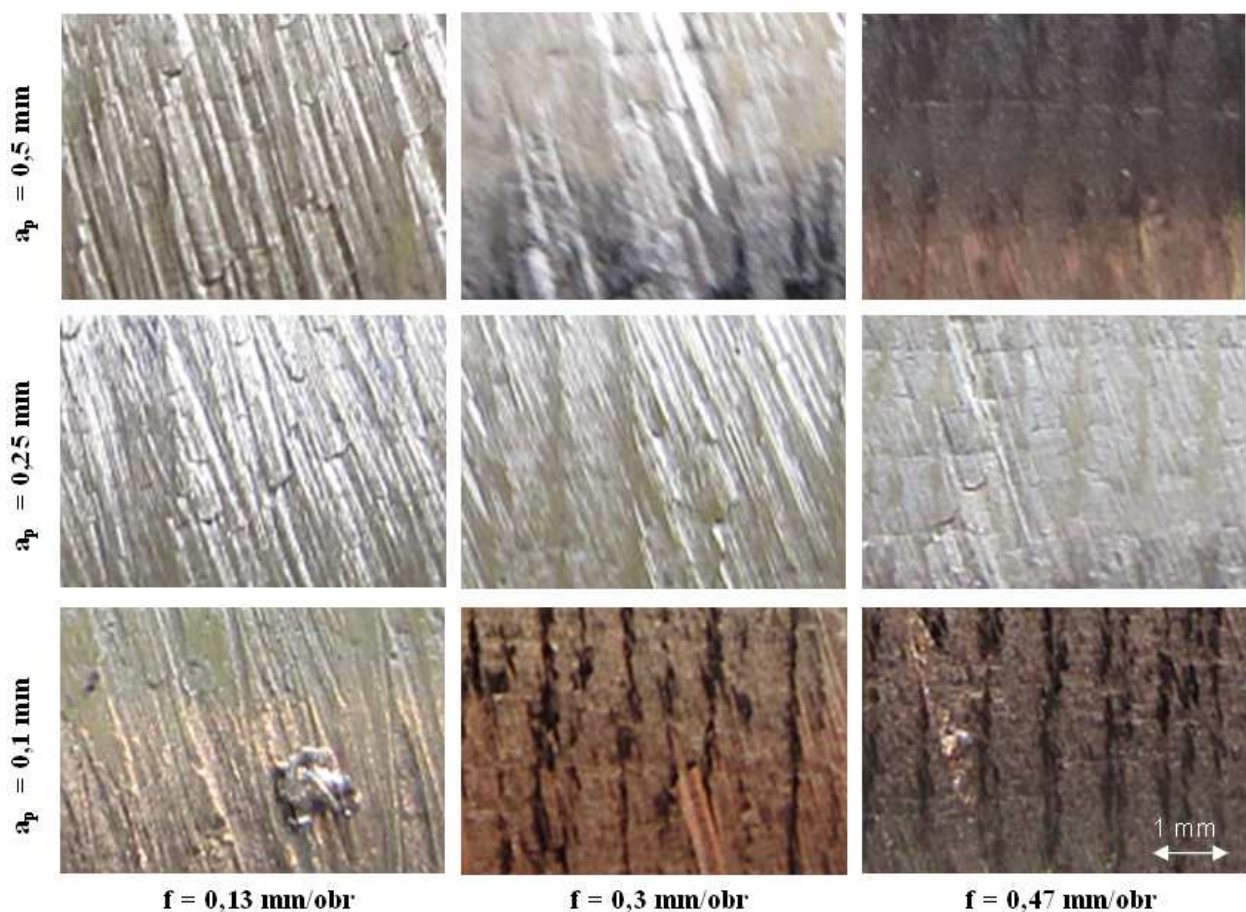
3.1. OBRÓBKA STALI NIERDZEWNEJ NA TOKARCE TUD 50

Przeprowadzone badania potwierdziły występowanie problemów podczas obróbki za pomocą narzędzi SPRT zaobserwowane w przemyśle. Dla określonych parametrów skrawania na powierzchni obrobionej pozostały po obróbce przywarte wióry bądź rysy po wiórach.

Na rys. 1 przedstawiono zdjęcia powierzchni obrobionej dla różnych posuwów i głębokości skrawania dla prędkości skrawania $v_c=40\text{m/min}$. Przedstawione wyniki wykazały zależność jakości powierzchni obrobionej od posuwu i głębokości skrawania, a co za tym idzie wielkości wióra - im wiór posiada mniejszy przekrój, tym jakość powierzchni jest gorsza.

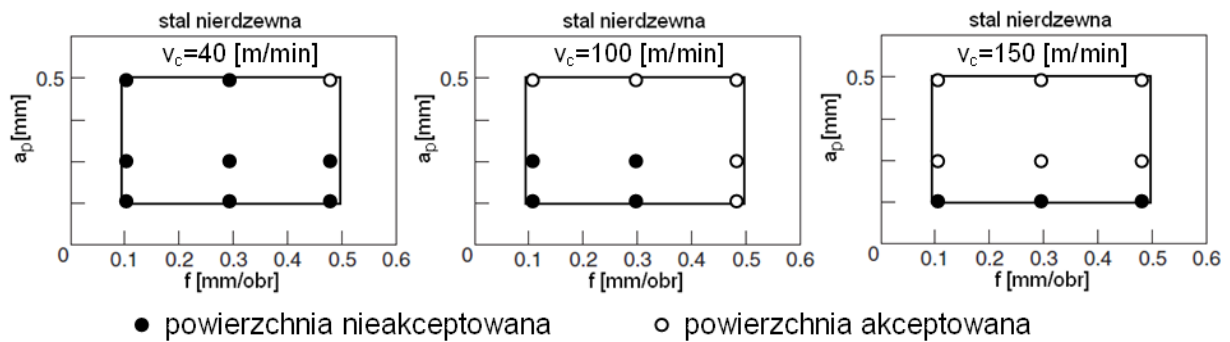
Przyczyną złej jakości powierzchni dla małych posuwów i głębokości skrawania jest wystąpienie zjawiska zawijania wióra pod obracającą się płytkę. Dla posuwu $f=0.13\text{mm/obr}$ i głębokości $a_p=0.1\text{mm}$ wiór był wgniatany w powierzchnię obrobioną. W innych przypadkach następowało tarcie wiórem o powierzchnię obrobioną. Dla prędkości $v_c=40\text{m/min}$ prawidłową powierzchnię osiągnięto jedynie przy posuwie $f=0.47\text{mm/obr}$ i głębokości $a_p=0.5\text{mm}$.

Poprawę jakości warstwy wierzchniej uzyskano stosując większe prędkości skrawania. Wzrost prędkości skrawania powodował szybsze odprowadzanie wióra ze strefy skrawania, skutkiem czego zjawisko zawijania wióra pod płytkę nie występowało. Zestawienie wyników badań dla stali nierdzewnej przedstawiono na rys. 2. Ciągłą linią zaznaczono na wykresie obszar parametrów zalecany przez producenta. Za pomocą znaczników z wypełnieniem bądź bez – akceptowalność powierzchni obrobionej określano na podstawie występowania uszkodzeń powierzchni przez wióry. Przedstawione wykresy wykazały odmienność uzyskanych wyników w stosunku do parametrów proponowanych przez Producenta. Spośród zalecanych wartości posuwu i głębokości nadają się tylko te o wyższych wartościach. Również zastosowanie prędkości skrawania większej niż zalecana przyczyniło się do poprawy jakości powierzchni.



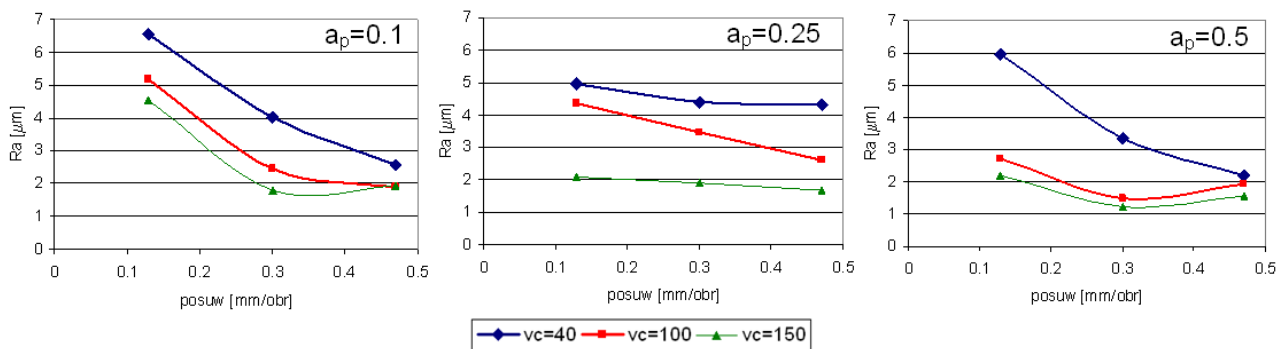
Rys. 1. Obraz powierzchni obrobionej dla stali nierdzewnej, $v_c = 40\text{m/min}$

Fig. 1. Machined surface for stainless steel, $v_c = 40\text{m/min}$



Rys. 2. Wyniki obróbki stali nierdzewnej dla poszczególnych parametrów skrawania, toczenie wzdłużne, bez chłodziwa
 Fig. 2. Results of cutting of stainless steel for different cutting parameters, longitudinal turning, without coolant

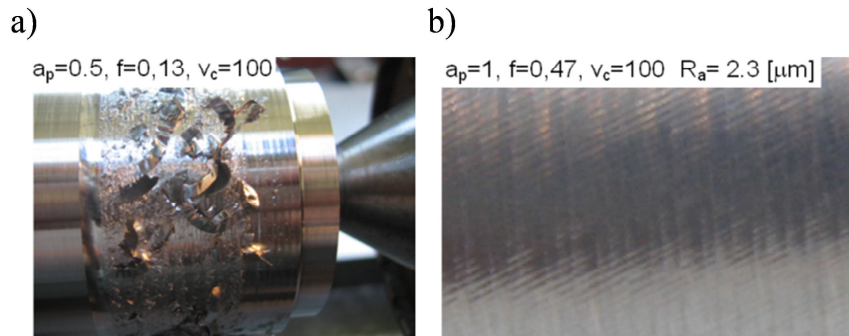
Na rys. 3 przedstawiono wyniki pomiarów chropowatości dla stali nierdzewnej. Wyniki te jednoznacznie wykazują wzrost gładkości powierzchni wraz ze wzrostem posuwu. Również wzrost prędkości skrawania, w tym poza wartość zalecaną przez Producenta, powoduje polepszenie właściwości powierzchni. Najmniejszy wpływ na gładkość powierzchni ma głębokość skrawania. Zauważono natomiast wpływ głębokości skrawania na falistość powierzchni, co jest zgodne z wynikami badań opisanymi w [3].



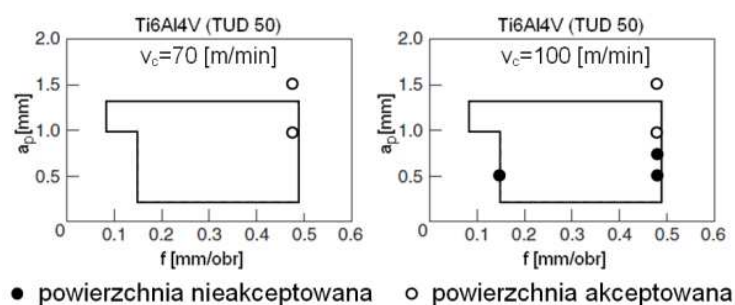
Rys. 3. Chropowatość R_a powierzchni stali nierdzewnej w zależności od posuwu
 Fig. 3. Roughness R_a surface of stainless steel vs. feed

3.2. OBRÓBKA STOPU TYTANU NA TOKARCE TUD 50

Podobnie jak w przypadku obróbki stali, mały przekrój wióra powodował dostawanie się wióra pod obracającą się płytkę i wgniatanie go w powierzchnię obrobioną. W efekcie uzyskiwano nieakceptowalną powierzchnię obrobioną. W trakcie obróbki można też było zaobserwować silne żarzenie w strefie skrawania. Przy większych przekrojach warstwy skrawanej, podobnie jak w przypadku stali nierdzewnej, uzyskano bardzo dobrą i gładką powierzchnię, nawet przy zastosowaniu parametrów większych niż zalecane przez Producenta. Na rys. 4 przedstawiono przykład powierzchni akceptowalnej i nieakceptowalnej, a na rys. 5 wyniki obróbki dla poszczególnych parametrów.



Rys. 4. Powierzchnia stopu tytanu dla parametrów skrawania: a) niekorzystnych, b) korzystnych
 Fig. 4. Surface of titanium alloy for cutting parameters: a) disadvantageous, b) advantageous



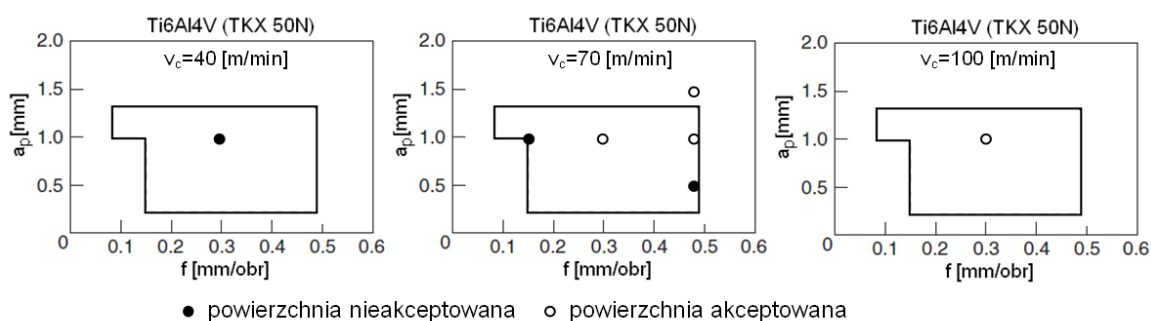
Rys. 5. Wyniki obróbki stopu tytanu dla poszczególnych parametrów skrawania (tokarka TUD 50), toczenie wzdłużne, bez chłodziwa
 Fig. 5. Results of cutting of titanium alloy for different cutting parameters (TUD 50 lathe), longitudinal turning, without coolant

3.3. OBRÓBKA STOPU TYTANU NA TOKARCE TKX 50N

Na tokarce TKX 50N przeprowadzono szereg testów z chłodziwem i bez chłodziwa, dla toczenia wzdłużnego i poprzecznego. Wyniki obróbki dla toczenia poprzecznego z chłodziwem przedstawiono na rys. 6. Z przeprowadzonych badań, można wywnioskować że:

- przy zbyt małej prędkości skrawania występuje zjawisko przywierania wiórów do powierzchni obrobionej (por: $f=0.3\text{mm/obr}$, $a_p=1$ dla $v_c=40, 70$ i 100m/min),
- przy zbyt małym posuwie występuje zjawisko przywierania wiórów do powierzchni obrobionej (por. $f=0.15, 0.3$ i 0.47mm/obr dla $v_c=40\text{m/min}$, $a_p=1\text{mm}$),
- przy zbyt małej głębokości skrawania występuje zjawisko przywierania wiórów do powierzchni obrobionej (por. $a_p=0.5, 1$ i 1.5mm dla $v_c=40\text{m/min}$ i $f=0.3\text{mm/obr}$). Ze względu na pojawiającą się falistość powierzchni dla $a_p=1.5\text{mm}$, najlepszą jakość powierzchni obrobionej uzyskano dla $a_p=1\text{mm}$.

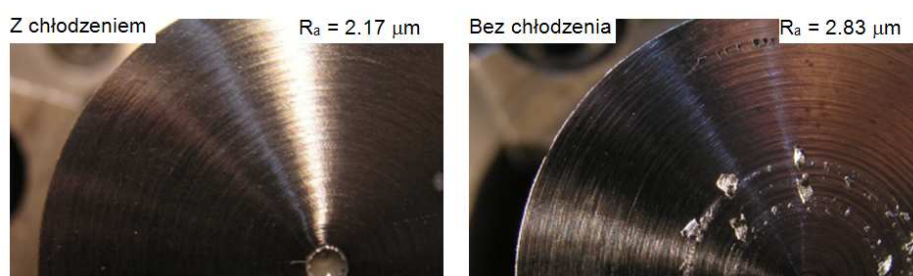
Przeprowadzono również badania wpływu zastosowania chłodziwa na wynik obróbki. W wyniku badań uzyskano znacząco lepszą jakość powierzchni obrobionej podczas obróbki z chłodziwem, co ilustruje rys. 7. Zastosowanie chłodziwa ułatwia zarówno ewakuację wiórów jak również obniża temperaturę powierzchni obrobionej.



Rys. 6. Wyniki obróbki stopu tytanu dla poszczególnych parametrów skrawania (tokarka TKX 50N), toczenie poprzeczne, z chłodziwem

Fig. 6. Results of cutting of titanium alloy for different cutting parameters (TKX 50N lathe), facing, with coolant

Ostatnie badania przeprowadzone dla stopu tytanu dotyczyły porównania wpływu kierunku posuwu na jakość warstwy wierzchniej. W tym celu dla zadanych parametrów wykonano toczenie wzdłużne i poprzeczne. W wyniku toczenia poprzecznego uzyskiwano gładszą powierzchnię niż w przypadku toczenia wzdłużnego, przy czym każda z nich spełniała wymogi stawiane obróbce wykończeniowej. Zestawienie parametrów chropowatości dla toczenia wzdłużnego i poprzecznego przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 7. Porównanie powierzchni stopu tytanu w wyniku toczenia poprzecznego z chłodzeniem i bez chłodzenia, $v_c=70\text{m/min}$, $a_p=1\text{mm}$, $f=0.47\text{mm/obr}$

Fig. 7. Comparison titanium alloy surfaces after faced with coolant and without coolant, $v_c=70\text{m/min}$, $a_p=1\text{mm}$, $f=0.47\text{mm/rev}$

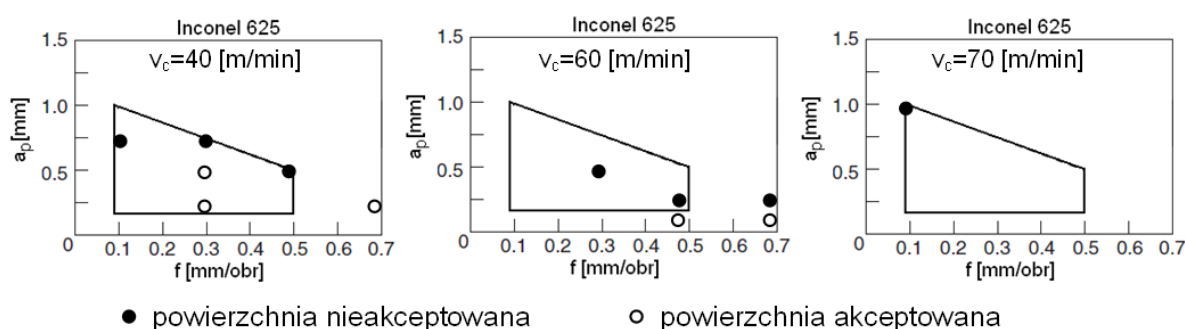
Podczas badań zwrócono również uwagę na przywarty wiór na końcu drogi skrawania podczas toczenia wzdłużnego – jest on efektem zmniejszania posuwu podczas wybiegu narzędzia. Zatem przy projektowaniu procesu technologicznego należy tak zaplanować trajektorię narzędzia, żeby nie było konieczności zmniejszania posuwu.

Tabela 2 Chropowatość powierzchni stopu tytanu dla poszczególnych warunków skrawania
Table 2. Roughness titanium alloy surfaces for different cutting parameters

	$v_c=70, a_p=1, f=0.3$	$v_c=70, a_p=1, f=0.47$	$v_c=100, a_p=1, f=0.3$
Toczenie czołowe	$R_a=2.02$	$R_a=2.17$	$R_a=2.17$
Toczenie wzdłużne	$R_a=2.84$	$R_a=2.97$	$R_a=3.41$

3.4. OBRÓBKA INCONELU 625 NA TOKARCE TKX 50N

Dobór parametrów skrawania dla Inconelu 625 okazał się najbardziej kłopotliwym zadaniem. Wyniki obróbki z różnymi parametrami przedstawiono na rys. 8. W przypadku Inconelu zwiększenie prędkości nie przyniosło poprawy jakości powierzchni (por. $f=0.3\text{mm/obr}$, $a_p=0.5$ oraz $f=0.7\text{mm/obr}$, $a_p=0.25$ dla $v_c=40$ i 60m/min). Przy obróbce Inconelu 625 najlepiej sprawdziły się duże posuwy oraz małe głębokości skrawania, ale i te parametry nie gwarantowały powierzchni spodziewanej w wyniku toczenia wykończeniowego. Uzyskana powierzchnia wprawdzie nie posiadała przywartych wiórów ani rys, ale charakteryzowała się dużą falistością.

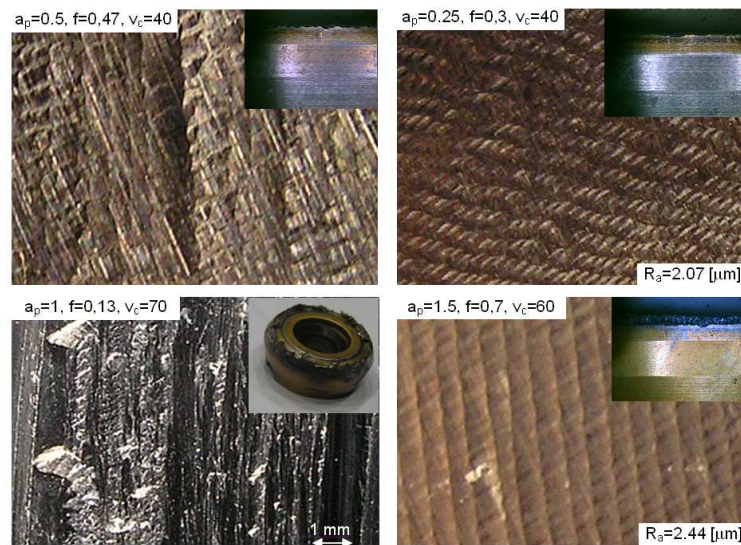


Rys. 8. Wyniki obróbki Inconelu 625 dla poszczególnych parametrów skrawania (tokarka TKX 50N), toczenie czołowe, z chłodziwem

Fig. 8. Results of cutting of Inconel 926 for different cutting parameters (TKX 50N lathe), facing, with coolant

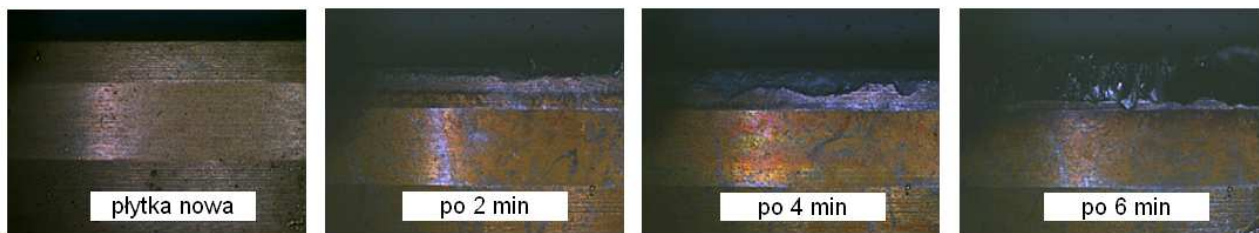
Przeprowadzono szereg prób dla różnych płytek (pokrywanych i niepokrywanych) dla różnych parametrów skrawania, na sucho i z chłodziwem, wykonując po dwa powtórzenia dla każdego z warunków skrawania. Przykłady niekorzystnych i korzystnych powierzchni przedstawiono na rys. 9. Bez względu na jakość uzyskanej powierzchni, narzędzie ulegało szybkiemu zużyciu w postaci wykruszeń narostów.

Najlepsze pod względem trwałości ostrza wyniki uzyskano dla płytki pokrywanej z parametrami $v_c=40\text{m/min}$, $a_p=0.5\text{mm}$, $f=0.3\text{mm/obr}$. Rozwój zużycia na powierzchni przyłożenia dla tej próby przedstawiono na rys. 10. Po dwóch minutach obróbki płytka posiadała już liczne wykruszenia, a po 6-ciu minutach obróbki płytka pokryta była bardzo silnym narostem. Zdarzały się również przypadki odkręcenia płytki i wycieku smaru. Zjawiska te spowodowane są dużymi siłami towarzyszącymi obróbce Inconelu 625, źle tolerowanymi przez mało sztywne narzędzia SPRT. De facto w niniejszym zastosowaniu płytka nie powinna pracować dłużej niż 2 minuty. Dla porównania wyniki trwałości ostrza dla narzędzi SPRT zestawiono w tabeli 3 z wynikami prób trwałościowych narzędziami z płytkami z węglika spiekane i ceramicznymi, opisanymi szczegółowo w [5]. Najlepszy wynik uzyskano dla płytek ceramicznych typu Whiskers. Dla średniej prędkości skrawania $v_c=237\text{m/min}$ uzyskano 12 minutowy okres trwałości ostrza. Narzędzie SPRT w tym przypadku okazało się być najmniej wydajne i charakteryzowało się najkrótszym okresem trwałości ostrza.



Rys. 9. Powierzchnia obrobiona oraz płytka uzyskana w wyniku obróbki Inconelu 625 dla niekorzystnych i korzystnych parametrów skrawania

Fig. 9. Machined surfaces and inserts after cutting of Inconel 625 for disadvantageous and advantageous cutting parameters



Rys. 10. Powierzchnia przyłożenia płytki po obróbce Inconelu 625, $v_c=40\text{m/min}$, $a_p=0.5\text{mm}$, $f=0.3\text{mm/obr}$, toczenie czołowe, z chłodziwem

Fig. 10. Flank wear after facing Inconel 625, $v_c=40\text{m/min}$, $a_p=0.5\text{mm}$, $f=0.3\text{mm/rev}$, with coolant

Tabela 3. Porównanie wydajności i okresu trwałości ostrza podczas toczenia poprzecznego Inconelu 625 z chłodziwem
Table 3. Comparison of efficiency and tool life during facing of Inconel 625, with coolant

Narzędzie /płytką	v_c [m/min]	f [mm/obr]	a_p [mm]	Okres trwałości ostrza [min]
DCKNL 3225/ CNMG120412-MR4 węgiel spiekany pokrywany	50	4	0.32	3
CRGNL 2525/ RNGN 120700 płytka fazowana, ceramika azotkowa	237	0.21	2.5	6
CRSNL 3225/ RNGN 120700 Ceramika wiskers	237	0.21	2.5	12
SPRT: RRS DL 3232P12/ RDGH 120400-M4 Węgiel spiekany pokrywany	40	0.5	0.3	2

4. POSUMOWANIE

W ramach przeprowadzonych badań wykonano szereg testów w zakresie przydatności narzędzi SPRT do obróbki materiałów trudnoobrabialnych. Wyniki badań wykazały, że:

- zakres pracy narzędzi SPRT różni się od zakresu zalecanego przez Producenta,
- dla stali nierdzewnej i stopu tytanu Ti6Al4V można uzyskać powierzchnię obrobioną o wysokiej gładkości,
- testowane narzędzia SPRT powinny w miarę możliwości pracować z dużymi posuwami i prędkościami skrawania. Należy to również uwzględniać planując dobieg i wybieg narzędzia,
- zbyt małe posuwy i głębokości skrawania mogą powodować zawijanie się wióra wokół narzędzia i jego przywieranie do powierzchni obrobionej. Zbyt duże głębokości skrawania mogą powodować falistość powierzchni,
- testowane narzędzia SPRT, ze względu na małą sztywność, nie nadają się do obróbki wykończeniowej Inconelu 625.
- podczas obróbki narzędziami SPRT należy stosować chłodziwo.

Badania realizowane w ramach Projektu „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym” Nr POIG.0101.02-00-015/08 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

LITERATURA

- [1] LEI S., LIU W., 2002, *High-speed machining of titanium alloys using the driven rotary tool*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42/6, 653–661.
- [2] SASAHARA H., KATO A., NAKAJIMA H., YAMAMOTO H., MURAKI T., TSUTSUMI M., 2008, *High-speed rotary cutting of difficult-to-cut materials on multitasking lathe*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 48/7-8, 841–850.
- [3] CHMIELEWSKI K., CIELOSZYK J., ZASADA M., 2008, *Model kształtowania stanu geometrycznego powierzchni w procesie toczenia narzędziami z samoobraccającym się ostrzem*, Obróbka Skrawaniem – Innowacje, IOS, Kraków, 352-359.
- [4] CHMIELEWSKI K., CIELOSZYK J., ZASADA M., 2007, *Stan geometryczny powierzchni po obróbce tokarskiej narzędziem SPRT*, Obróbka Skrawaniem – Wysoka Produktowność, OWPW, Wrocław, 213-221.
- [5] KOSSAKOWSKA J., JEMIELNIAK K., 2010, *Optymalizacja toczenia zgrubnego Inconel 625*, Obróbka Skrawaniem – Współczesne Problemy, Łódź.
- [6] CIELOSZYK J., ZASADA M., 2011, *Stan powierzchni po obróbce narzędziami tokarskimi z ostrzami q obrotowymi*, Obróbka Skrawaniem – Nauka a Przemysł, Opole, 375-382.
- [7] <http://www.rotarytech.com>.
- [8] <http://www.mitsubishicarbide.net>.

APPLICATION OF ROTARY TOOLS FOR MACHINING OF DIFFICULT TO CUT MATERIAL

This paper presents results of application commercial available SPRT to machining difficult to cut material. The range of researches includes turning of stainless steel, titanium alloy and Inconel 625. The results of cutting proved, that range of good working SPRT is different, that producer recommends. Some important drawbacks and limitations of SPRT application were revealed. The most important is tendency of swirling the chips around rotating tool rake face and pulling them under the insert on the side of machined surface, which results in adhered chips and unacceptable surface finish.