

Tomasz Dyl

Akademia Morska w Gdyni

OBRÓBKA WYKOŃCZENIOWA POWŁOK KOMPOZYTOWYCH W ASPEKcie ZUŻYCIA OSTRZA NOŻA TOKARSKIEGO

Powierzchnia powłok jest silnie rozwinięta i cechuje się znaczną chropowatością. Powłoki często odwzorowują kształt powierzchni rzeczywistej podłoża. Struktura powłok natryskiwanych cieplnie cechuje się m.in. dużą porowatością. Natryskiwanie cieplne jest technologią, która nie pozwala na precyzyjne sterowanie grubością powłok. Względy te wymuszają stosowanie wykończeniowej obróbki mechanicznej powłok natryskiwanych cieplnie wykorzystywanych również do regeneracji wałów napędowych pomp odśrodkowych. Tradycyjną metodą obróbki wymiarowej struktury geometrycznej powierzchni powłok stanowi obróbka skrawaniem (toczenie i szlifowanie). Biorąc pod uwagę możliwości wyposażenia warsztatu siłowni okrętowej, najlepiej byłoby zastosować toczenie powłok. W pracy określono zależności pomiędzy zużyciem ostrza noża tokarskiego oraz strukturą geometryczną powierzchni obrobionej a rodzajem zastosowanego materiału narzędziowego i kształtem płytek skrawających.

Słowa kluczowe: obróbka wykończeniowa, powłoki kompozytowe, zużycie ostrza.

WSTĘP

Nowoczesne maszyny pracują przy coraz większych obciążeniach eksploatacyjnych. Wymusza to rozwój nowych materiałów konstrukcyjnych lub technologii obróbek powierzchniowych, które zapewniłyby dużą niezawodność i trwałość części maszyn [9–12, 16–21, 26, 27]. W przypadkach, w których o trwałości decydują jedynie właściwości powierzchniowe materiału (odporność na zużycie cierne, korozyjne, zmęczenie stykowe), niecelowe jest stosowanie drogich materiałów do produkcji całych elementów. Używane są powłoki ochronne i regeneracyjne.

Jedną z najbardziej ekonomicznych technologii nakładania powłok jest natryskiwanie płomieniowe. Materiałem powłokowym zwiększającym trwałość części maszyn jest nikiel i jego stopy oraz kompozyt na osnowie niklu i fazy ceramicznej. Powłoki stopowe i kompozytowe na osnowie niklu, otrzymane za pomocą natryskiwania cieplnego uzyskują duże wartości chropowatości powierzchni, dlatego muszą być poddane obróbce wykończeniowej. Najczęściej stosuje się obróbkę wiórową i ścierną (np. toczenie, szlifowanie) [12, 16, 19, 21, 26, 29].

Istotne jest określenie zależności pomiędzy parametrami technologicznymi obróbki wykończeniowej powłok stopowych i kompozytowych a parametrami geometrycznymi zużycia ostrza noża tokarskiego, dla płytek skrawających o różnym kształcie i wykonanych z różnych rodzajów materiałów (np. węgliki spiekane i regularny azotek boru).

Zagadnienia związane z obróbką skrawaniem powłok stopowych i kompozytowych są relatywnie trudne. Wynika to z warstwowej budowy powłok, inkluzji tlenkowych, porowatości oraz stosunkowo niskiej przyczepności [18]. W pracach [18–21, 24] zalecane są narzędzia i sposoby obróbki charakteryzujące się następującymi parametrami: kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej $\kappa_r = 45^\circ$; kąt natarcia zerowy $\gamma = 0^\circ$ lub ujemny $\gamma = -5^\circ$; kąt przyłożenia $\alpha = 5\text{--}8^\circ$; promień naroża $r_e = 0,8$ mm; prędkość skrawania $v_c = 20\text{--}40$ m/min; posuw $f = 0,05\text{--}0,1$ mm/obr.; głębokość skrawania $a_p = 0,05$ mm (obróbka bardzo dokładna) $a_p = 0,8$ mm (obróbka zgrubna).

Tradycyjnie podczas toczenia powłok natryskiwanych cieplnie stosuje się małe prędkości skrawania, średnio 30 m/min. Wynika to przede wszystkim z dwóch powodów: niskiej adhezji powłok do podłoża (ze względu na wzrost sił skrawania wraz ze wzrostem prędkości skrawania) i możliwości ich oderwania, szybkiego zużycia krawędzi skrawającej narzędzia, wynikającej z obecności w strukturze powłok tlenków „in situ” oraz porów. Uważa się, że szybkość zużycia narzędzia jest proporcjonalna do porowatości powłok [18, 19, 21].

W celu obniżenia sił skrawających oraz uzyskania małej chropowatości powierzchni stosuje się małe posuwy oraz głębokości skrawania [17, 18]. Użycie małych głębokości skrawania powłok niklowych powoduje szybkie zużycie powierzchni przyłożenia płytki skrawającej [24].

W pracy [26] przedstawiono wyniki wstępnych badań toczenia powłok natryskiwanych cieplnie dla zalecanych parametrów skrawania zamieszczonych w pracach [19, 20, 24]. Po przeprowadzonych badaniach toczenia powłok stopowych i kompozytowych określono, że chropowatość jest duża i mieści się w zakresie $Ra = 1,69\text{--}4,22$ μm [26]. Z tego względu podczas obróbki wykończeniowej powłok stopowych i kompozytowych, we wspomnianej pracy proponuje się stosowanie większych prędkości skrawania od podanych w zaleceniach producentów materiałów powłokowych [19, 21, 24]. Ze względu na powstawanie wióra odrywanego podczas toczenia powłok, podobnie jak podczas obróbki żeliw, używa się również narzędzi wykonanych z materiałów odpornych na ścieranie (ze względu na obecność w strukturze powłok inkluzji tlenkowych). Zalecany materiałem narzędziowym są: węgliki spiekane do obróbki żeliwa (K10), regularny azotek boru (CBN) lub diament. Podstawowym rodzajem zużycia narzędzia podczas obróbki jest ścieranie powierzchni przyłożenia.

W pracy [21] przedstawiono wyniki badań, na podstawie których stwierdzono, że wielkość cząstek uzyskanych wiórów jest mniejsza przy kącie przystawienia 45° niż przy 90° . Wpływa to na mniejsze zużycie narzędzia i pozwala na uzyskanie mniejszej chropowatości toczonej powierzchni natryskiwanych cieplnie powłok. W praktyce powłoki natryskiwane cieplnie toczy się tym samym narzędziem co

podłoże. Na przykład firma Messer-Castolin proponuje dwa rodzaje narzędzi: „Rototool II” z kwadratową płytką wieloostrzową i „Rototool III” z wymienną płytką cylindryczną. Chropowatość powierzchni powłok obrabianych narzędziem „Rototool II” wynosi ok. $R_a = 3 \mu\text{m}$ [19]. Powierzchnia o tak dużej chropowatości często wymaga jeszcze szlifowania [20, 21]. W przypadku stopów niklu (inconel, supermet) zaleca się stosowanie narzędzi skrawających, wykonanych z regularnego azotku boru [1, 5, 12, 22, 23] lub węgla wolframu do obróbki żeliwa K20 [8, 12, 29], K10 [2, 8] lub rzadziej materiałów ceramicznych [8, 14, 31] dla kątów przystawienia 45° [2, 3] 75° [6, 28] i 95° [17, 18, 22, 23]. Używane są ujemne płytki skrawające o kształtach: kwadratowym [1, 6] rombowym [17, 18, 23], trygonalnym [17, 18, 25] oraz okrągłym [1, 5, 13, 14]. Narzędzia stosowane do toczenia stopów niklu muszą charakteryzować się dużą odpornością na działanie dużych sił skrawania, dlatego stosuje się płytki o ujemnym kącie natarcia, kącie wierzchołkowym 80 lub 90° i promieniu naroża $0,8 \text{ mm}$ [4, 7, 15, 30, 31].

Natryskiwane płomieniowo palnikiem „Casto-Dyn 8000” powłoki Ni-5%Al we wstępnym etapie prac badawczych, opisanych w pracy [26], poddano obróbce skrawaniem dwoma narzędziami: nożem tokarskim ISO 2R 2525K10 o geometrii zalecanej przez autorów prac [20, 21] oraz firmę Messer-Castolin [19], nożem oprawkowym z płytką WNGA 080408 S01030A. Geometria narzędzia ISO 2R 2525K10 (NNZc) była następująca: kąt wierzchołkowy (naroża) $\varepsilon = 90^\circ$, kąt natarcia $\gamma = -5^\circ$, kąt przyłożenia $\alpha = 6^\circ$, kąt przystawienia $\kappa_r = 45^\circ$, promień naroża $r_\varepsilon = 0,8 \text{ mm}$. Natomiast płytkę WNGA 080408 S01030A montowano w oprawce DWLNRL-2525M08. Płytkę i oprawka były produkcji firmy Sandvik Coromant [29]. Geometria narzędzia skrawającego uwzględniająca geometrię płytki skrawającej i oprawki była następująca: kąt wierzchołkowy (naroża) $\varepsilon = 80^\circ$, kąt przystawienia krawędzi skrawającej $\kappa_r = 95^\circ$, kąt natarcia $\gamma = -6^\circ$, kąt przyłożenia $\alpha = 6^\circ$, promień naroża $r_\varepsilon = 0,8 \text{ mm}$, brak łamacza wióra.

Na podstawie rekomendacji producenta proszków materiału powłokowego Messer-Castolin [19] przyjęto następujące parametry skrawania: prędkość skrawania $v_c = 28 \text{ m/min}$, posuw $f = 0,08 \text{ mm/obr}$, głębokość skrawania $a_p = 0,05 \text{ mm}$. Powłoki stopowe Ni-5%Al obrabiane były również trygonalnymi płytkami wieloostrzowymi. Jako materiał narzędziowy wybrano borazon o symbolu katalogowym CB7015 [29]. CB7015 to materiał na bazie regularnego azotku boru (PCBN) z dodatkiem azotku tytanu, pokrytego powłoką TiN, nakładaną metodą PVD [25].

W pracy [26] przeprowadzono toczenie powłok stopowych i kompozytowych dla podanych parametrów skrawania: prędkość skrawania $v_c = 45\text{--}214 \text{ m/min}$, posuw $f = 0,06\text{--}0,2 \text{ mm/obr}$, głębokość skrawania $a_p = 0,05\text{--}0,3 \text{ mm}$. Po toczeniu wykonano pomiary chropowatości powierzchni powłok. Analizowano wpływ obróbki na wartość średniej arytmetycznej rzędnych profilu chropowatości R_a . Natryskiwane płomieniowe powłoki kompozytowe poddane zostały bardzo dokładnemu toczeniu wzdłużnemu. Powłoki kompozytowe toczone kwadratową płytką skrawającą SNGA 120408 S01030A, montowaną w oprawce DSDNN-2525M12 (kąt ostrza $\beta = 90^\circ$, kąt przystawienia, $\kappa_r = 45^\circ$, kąt przyłożenia $\alpha = 6^\circ$, kąt natarcia $\gamma = -6^\circ$, promień naroża $r_\varepsilon = 0,8 \text{ mm}$), a także z trygonalną płytką skrawającą

WNGA 080408 S01030A, montowaną w oprawce DWLNRL-2525M08 (kął ostrza $\beta = 80^\circ$, kął przystawienia, $\kappa_r = 95^\circ$, kął przyłożenia $\alpha = 6^\circ$, kął natarcia $\gamma = -6^\circ$, promień naroża $r_e = 0,8$ mm).

W celu określenia odpowiednich parametrów skrawania obróbki wykończeniowej powłok stopowych na osnowie niklu, natryskiwanych płomieniowo na podłożu stalowe, przeprowadzono wstępne badania doświadczalne toczenia wzdłużnego bardzo dokładnego [12, 26]. Oceniono wpływ prędkości skrawania, prędkości posuwu, głębokości skrawania na chropowatość powierzchni powłok. Zastosowano następujące parametry skrawania powłok stopowych i kompozytowych: prędkości skrawania $v_c = 45\text{--}214$ m/min, prędkości posuwu $f = 0,06\text{--}0,2$ mm/obr, głębokości skrawania $a_p = 0,05\text{--}0,3$ mm. Najniższą wartość chropowatości powłok stopowych $R_a = 0,31$ μm uzyskano, stosując parametry skrawania: $v_c = 214$ m/min, $f = 0,06$ mm/obr, $a_p = 0,3$ mm. Analiza statystyczna wykazała, że największy wpływ na zmniejszenie wartości R_a toczonych powłok ma głębokość skrawania a_p . W badanym zakresie, im większa jest wartość głębokości skrawania, tym mniejsza jest chropowatość powierzchni. Na podstawie analizy wyników badań określono, że najlepszą jakość powierzchni uzyskują próbki stalowe z naniesioną powłoką stopową na bazie niklu Ni-5%Al dla prędkości skrawania $v_c = 214$ m/min w przypadku obróbki za pomocą płytek skrawających z borazonu, $v_c = 107$ m/min po obróbce płytkami skrawającymi z węglików spiekanych, dla prędkości posuwu $f = 0,06$ mm/obr i głębokości skrawania $a_p = 0,3$ mm. Natomiast najmniejsze chropowatości powierzchni powłok kompozytowych uzyskano dla prędkości skrawania $v_c = 157$ m/min w przypadku obróbki za pomocą płytek skrawających borazonowych, $v_c = 83$ m/min po obróbce płytkami skrawającymi z węglików spiekanych, dla posuwu $f = 0,06$ mm/obr i głębokości skrawania $a_p = 0,3$ mm [12, 26].

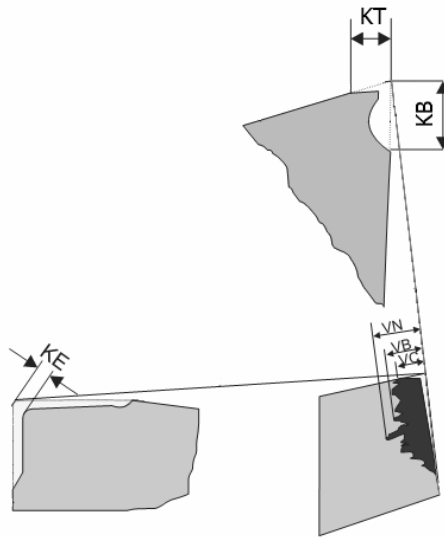
Powierzchnia styku pomiędzy szczeliwem a czopem wału napędowego powinna być jak największa, dlatego parametry krzywej udziału materiałowego powinny przyjmować jak najmniejsze wartości. Chropowatość powierzchni na uszczelnieniach wałów napędowych powinna być niska. Średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości powierzchni powinna zawierać się w przedziale $R_a = 0,16\text{--}1,63$ μm [12, 16, 26].

Celem badań było określenie najlepszej geometrii płytki skrawającej, przy zastosowanych optymalnych parametrach technologicznych obróbki skrawaniem powłok stopowych i kompozytowych na osnowie niklu i aluminium, dla zapewnienia wymaganej trwałości ostrza noża tokarskiego. Do badań, ze względu na porównanie różnych kształtów i geometrii noży tokarskich, dobrano płytki skrawające kwadratowe, okrągłe, trygonalne, wykonane z węglików spiekanych (o gatunkach: GC3205, GC3210, GC3215) i z regularnego azotku boru (gatunek CB7015).

1. METODYKA BADAŃ

Zużycie ostrza występuje na wszystkich powierzchniach posiadających bezpośredni kontakt z materiałem przedmiotu obrabianego i przejawia się ubytkiem materiału ostrza [30, 31]. Przykładowymi objawami zużycia ostrza są: wyszczerbienie i wykruszenie krawędzi skrawającej, starcie powierzchni natarcia, starcie na granicy styku ostrza z materiałem obrabianym, starcie pomocniczej powierzchni przyłożenia, głębokie rysy powstałe w wyniku odrywania się części narostu, która wciska się w materiał przedmiotu na powierzchni skrawania, starcie wywołane intensywnym utlenianiem materiału ostrza na granicy styku ostrza z materiałem obrabianym, starcie głównej powierzchni przyłożenia.

Na rysunku 1 przedstawiono parametry geometryczne (wskaźniki) zużycia ostrza skrawającego dla powierzchni przyłożenia i natarcia.



Rys. 1. Geometryczne wskaźniki zużycia ostrza noża tokarskiego: średnia szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia (VB, mm), szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia przy narożu (VC, mm), maksymalna szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia (VN, mm), szerokość wyżłobienia powierzchni natarcia (KB, mm), cofnięcie naroża ostrza (KE, mm), największa głębokość rowka zużycia (KT, mm) [30]

Fig. 1. Geometric parameters of turning tool wear: flank wear land length (VB, mm), nose wear land length (VC, mm), notch wear (VN, mm), distance between primary cutting edge and the most distant crater (KB, mm), tip wear (KE, mm), crater depth (KT, mm) [30]

Wybór odpowiedniej geometrii płytki skrawającej, a także jej gatunku, pozwoli na osiągnięcie optymalnej jakości technologicznej powierzchni powłok stopowych i kompozytowych, które mogą mieć m.in. zastosowanie do wytwarzania i regeneracji wałów napędowych pomp krętnych w miejscu uszczelnienia dławnicowego. Miejsca uszczelnień powinny się cechować również optymalnym udziałem nośnym profilu powierzchni.

Parametry związane z krzywą udziału materiałowego to:

- parametr R_{pk} – zredukowana wysokość wzniesień, charakteryzuje górną część powierzchni, która szybko ulegnie wytarciu po rozpoczęciu np. pracy silnika lub innego urządzenia okrętowego (powinien przyjmować jak najmniejszą wartość),
- parametr R_{vk} – zredukowana głębokość wgłębień profilu nierówności; jest on miarą zdolności pracujących powierzchni do utrzymania smaru w powstających mechanicznie wgłębieniach (powinien przyjmować jak największą wartość),
- parametr R_k – wysokość chropowatości rdzenia profilu (powinien przyjmować jak najmniejszą wartość).

W tabeli 1 zamieszczono przedstawiono oznaczenia kształtu i rodzaju materiału narzędziowego stosowanego na płytki oraz oznaczenia opravek użytych do mocowania płytek skrawających.

Tabela 1. Geometria i gatunki płytek skrawających użytych do toczenia próbek walcowych stalowych z naniesionymi powłokami stopowymi Ni-5%Al i kompozytowymi Ni-5%Al-Al₂O₃

Table 1. The shape and grade inserts used for turning cylindrical samples of steel and alloy Ni-5%Al and composite Ni-5%Al-Al₂O₃ coatings

Kształt płytki	Oznaczenie płytki skrawającej	Gatunek płytki skrawającej
kwadratowa	SNGA 120408 S01030A	CB7015
okrągła	N123J1-0600-RE	CB7015
trygonalna	WNMG 080408 S01030A	CB7015
trygonalna	WNMA 080408-KR	GC3205
trygonalna	WNMG 080408-KM	GC3205
trygonalna	WNMG 080408-KM	GC3210
trygonalna	WNMG 080408-KF	GC3215

Dla optymalnych parametrów skrawania, opisanych w pracy [26], wykonano badania doświadczalne obróbki wykończeniowej powłok stopowych i kompozytowych na osnowie niklu dla stałych wartości prędkości skrawania, prędkości posuwu i głębokości skrawania. Próbki stalowe z naniesioną powłoką stopową na bazie niklu toczono z prędkością skrawania $v_c = 214$ m/min za pomocą płytek skrawających borazonowych, i z prędkością skrawania $v_c = 107$ m/min płytkami skrawającymi z węglików spiekanych, dla posuwu $f = 0,06$ mm/obr i głębokości skrawania $a_p = 0,3$ mm. Próbki stalowe z naniesioną powłoką kompozytową z zawartością 15%Al₂O₃ na bazie niklu toczono z prędkością skrawania $v_c = 157$ m/min za pomocą płytek skrawających borazonowych i z prędkością skrawania $v_c = 83$ m/min płytkami skrawającymi z węglików spiekanych, dla posuwu $f = 0,06$ mm/obr i głębokości skrawania $a_p = 0,3$ mm.

Podczas obróbki powłok stopowych i kompozytowych występuje zazwyczaj krótka trwałość narzędzia, dlatego określono drogę skrawania ($L_{SC} = 1073$ m). Jest to długość skrawania, dla której dobierane są zalecane parametry skrawania, pozwalające na osiągnięcie niezawodnego procesu. Droga skrawania jest stosowana w odniesieniu do płytki, geometrii, gatunku, głębokości skrawania oraz

materiału, jaki jest poddawany obróbce. Drogę skrawania (L_{SC} , m) można obliczyć ze wzoru:

$$L_{SC} = \frac{\pi D_m l_m}{1000 f}, \quad (1)$$

gdzie:

- D_m – średnica przedmiotu obrabianego w części powierzchni obrobionej [mm], przyjęto $\phi 41$ mm,
- l_m – długość powierzchni obrobionej [mm],
- f – prędkość posuwu [mm/obr].

Przy zachowaniu stałej drogi skrawania (L_{SC}) dokonano obróbki skrawaniem poprzez toczenie różnymi narzędziami, a następnie wykonano pomiary chropowatości powierzchni obrobionej powłok stopowych Ni-5%Al i kompozytowych Ni-5%Al-15%Al₂O₃. Toczenie powłok wykonano na obrabiarce CDS 500×1000 o mocy 7 kW. Po obróbce skrawaniem parametry chropowatości powierzchni zmierzono za pomocą profilometru Hommel Tester T1000, przy założonych długościach odcinka pomiarowego 4,8 mm oraz odcinka elementarnego 0,8 mm.

Zużycie ostrza noża tokarskiego było wyznaczane na podstawie wskaźników dla powierzchni przyłożenia (VB) i natarcia (KB). Ilościowy ubytek materiału ostrza jest miarą jego zużycia. Podstawą do oceny wielkości zużycia ostrza noża tokarskiego jest wielkość ubytku jego materiału. Ubytek materiału ostrza powstaje na skutek starcia, wyszczerbienia i wykruszenia krawędzi skrawającej lub wyłamania ostrza.

Przewidywalność procesu technologicznego jest istotna przy następujących operacjach: obróbka zgrubna – kiedy należy zaprogramować zatrzymanie obrabiarki w celu wymiany płytki skrawającej, obróbka wykończeniowa – parametry skrawania, zapewniające zakończenie przejścia z przewidywalnym zużyciem tak, aby nie było konieczności zmiany płytek w trakcie skrawania lub wykonywania powtórnego przejścia.

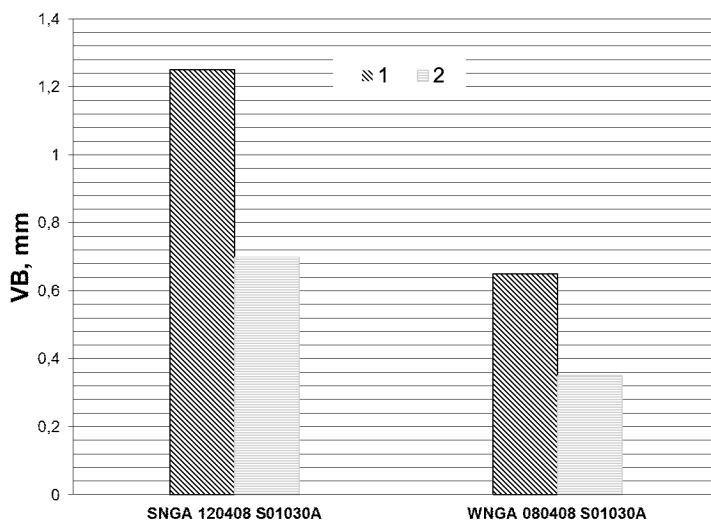
2. WYNIKI BADAŃ

Po przeprowadzonych badaniach doświadczalnych toczenia powierzchni walcowej zewnętrznej próbek stalowych z naniesioną powłoką stopową i kompozytową na osnowie niklu, zaobserwowano zużycie powierzchni przyłożenia i powierzchni natarcia o różnej wartości w zależności od rodzaju zastosowanego materiału i kształtu płytek skrawających i dla stałej drogi skrawania ($L_{SC} = 1073$ m). Wyznaczono szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia (VB) i natarcia (KB) ostrza noża tokarskiego o różnym kształcie płytki skrawającej: kwadratowej i trygonalnej z borazonu gatunku CB7015.

Po przeprowadzeniu toczenia powłok stopowych o osnowie niklu, nożem tokarskim z płytką kwadratową SNGA 120408 S01030A z borazonu CB7015

określono maksymalną szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia równą $VB = 1,25$ mm, natomiast szerokość wyżłobienia powierzchni natarcia $KB = 0,75$ mm. Powłoki stopowe na bazie niklu poddane toczeniu płytką skrawającą kwadratową uzyskiwały chropowatość powierzchni $Ra = 1,07$ μm .

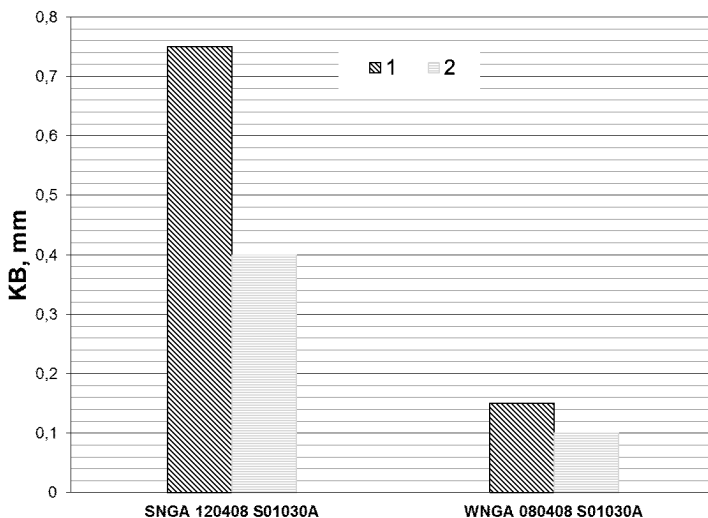
Po toczeniu płytką skrawającą trygonalną WNMG 080408 S01030A z borazonu CB7015 największa szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia wynosiła $VB = 0,65$ mm, natomiast na powierzchni natarcia szerokość wyżłobienia była równa $KB = 0,15$ mm, zużycie nastąpiło na powierzchni przyłożenia w wyniku starcia, a wytarcia na powierzchni natarcia. Średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości powierzchni była równa $Ra = 0,47$ μm .



Rys. 2. Szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia po toczeniu:
1 – powłok stopowych Ni-5%Al; 2 – powłok kompozytowych Ni-5%Al-15%Al₂O₃

Fig. 2. Flank wear land length for turning:
1 – alloy Ni-5%Al, 2 – composite Ni-5%Al-Al₂O₃ coatings

Płytką skrawającą trygonalną WNMG 080408 S01030A z borazonu CB7015 cechuje się prawie dwukrotnie mniejszym zużyciem powierzchni przyłożenia (rys. 2) i pięciokrotnie mniejszym zużyciem powierzchni natarcia (rys. 3) w porównaniu do płytki kwadratowej SNGA 120408 S01030A z borazonu CB7015, gdzie zużycie powstało poprzez wykruszenie. Stosując płytki trygonalne WNMG 080408-KF, wykonane z węglików spiekanych, określono, że najmniejsza średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości powierzchni powłok stopowych była równa $Ra = 0,54$ μm dla gatunku GC3215.



Rys. 3. Szerokość wyżłobienia powierzchni natarcia po toczeniu:

1 – powłok stopowych Ni-5%Al; 2 – powłok kompozytowych Ni-5%Al-15%Al₂O₃

Fig. 3. Distance between primary cutting edge and the most distant crater for turning:
1 – alloy Ni-5%Al, 2 – composite Ni-5%Al-Al₂O₃ coatings

Po przeprowadzeniu toczenia powłok kompozytowych nożem tokarskim z płytką kwadratową SNGA 120408 S01030A z regularnego azotku boru o gatunku CB7015, mocowaną w oprawce DSDNN-2525M12, zmierzono maksymalną szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia równą $VB = 0,7$ mm oraz szerokość wyżłobienia powierzchni natarcia $KB = 0,4$ mm. Powłoki kompozytowe poddane toczeniu płytką skrawającą kwadratową uzyskiwały chropowatość powierzchni $Ra = 1,08$ μm .

Natomiast po toczeniu płytką skrawającą trygonalną WNGM 080408 S01030A z regularnego azotku boru o gatunku CB7015, montowaną w oprawce DWLNRL-2525M08, największa szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia wynosiła $VB = 0,35$ mm, a na powierzchni natarcia szerokość wyżłobienia była równa $KB = 0,1$ mm, zużycie nastąpiło na powierzchni przyłożenia w wyniku wykruszenia, natomiast na powierzchni natarcia nastąpił narost. Średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości powierzchni była równa $Ra = 1,51$ μm .

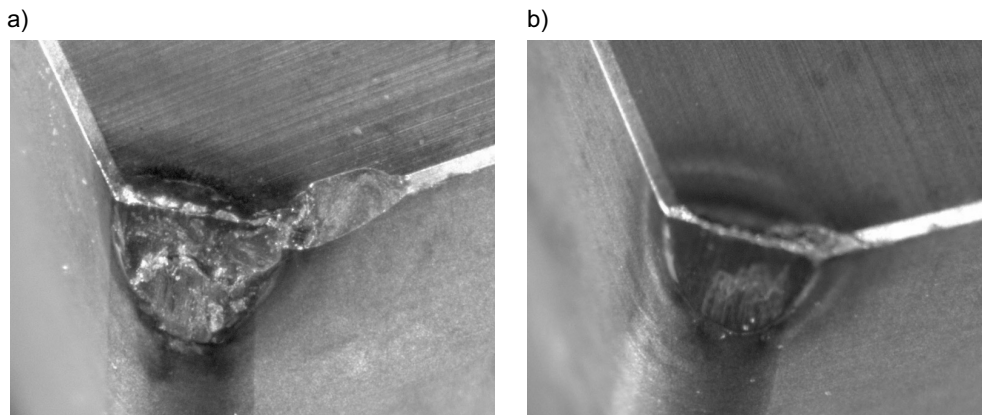
Płytką skrawającą trygonalną WNGM 080408 S01030A z borazonu CB7015 cechuje się dwukrotnie mniejszym zużyciem powierzchni przyłożenia (rys. 2) i czterokrotnie mniejszym zużyciem powierzchni natarcia (rys. 3) w porównaniu do płytki kwadratowej SNGA 120408 S01030A z borazonu CB7015, gdzie zużycie na powierzchni natarcia i przyłożenia powstało poprzez starcie. Po przeprowadzonych badaniach doświadczalnych toczenia powierzchni walcowych zewnętrznych próbek stalowych z naniesioną powłoką stopową i kompozytową na osnowie niklu określono, że występują zależności pomiędzy strukturą geometryczną powierzchni obrobionej a rodzajem zastosowanego materiału narzędziowego i kształtem płytek skrawających.

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe fotografie kwadratowych płytek skrawających z regularnego azotku boru po toczeniu powłok stopowych i kompozytowych. Widoczne jest zużycie mechaniczno-ściernie płytek na powierzchni przyłożenia i natarcia. Objawami zużycia ostrza są wykruszenie i starcie.

Na rysunku 5 zaprezentowano przykładowe fotografie trygonalnych płytek skrawających z regularnego azotku boru po toczeniu powłok stopowych i kompozytowych. Widoczne jest zużycie płytek na powierzchni przyłożenia i natarcia.

Objawami mechaniczno-ściernego zużycia ostrza noża tokarskiego płytek kwadratowych i trygonalnych jest starcie powierzchni przyłożenia po toczeniu powłok kompozytowych i wykruszenie po toczeniu powłok stopowych.

Zużycie mechaniczno-ściernie ostrza płytek skrawających wywołane jest zaczepianiem i ścinaniem nierówności powierzchni ostrza przez nierówności nowo tworzonych powierzchni przedmiotu i wióra. Istotną przyczyną zużycia płytek skrawających jest również oddziaływanie twardych wtrąceń fazy dyspersyjnej tlenku glinu.



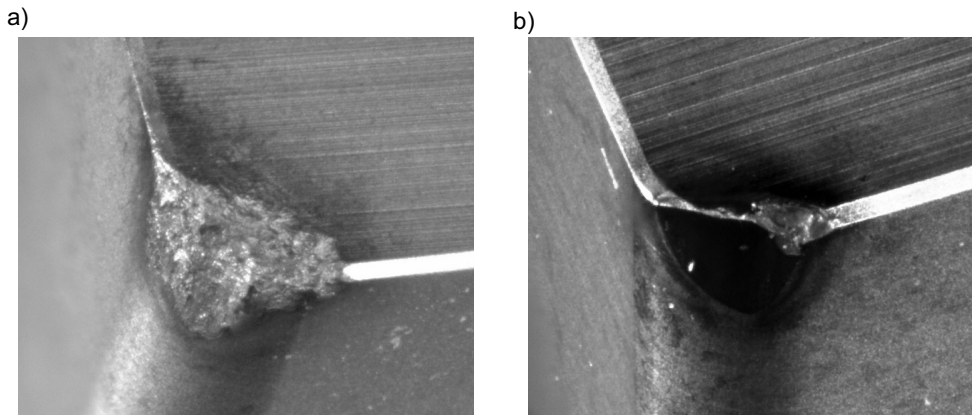
Rys. 4. Zużycie płytki skrawającej SNGA 120408 S01030A z borazonu CB7015 po toczeniu:

a) powłok stopowych Ni-5%Al, b) powłok kompozytowych Ni-5%Al-15%Al₂O₃

Fig. 4. Turning tool wear for SNGA 120408 S01030A CB7015:

a) alloy Ni-5%Al, b) composite Ni-5%Al-Al₂O₃ coatings

Na podstawie wyników, zamieszczonych na rysunku 6, można stwierdzić, że najmniejsze wartości średniej arytmetycznej rzędnych profilu chropowatości powierzchni występują po toczeniu próbek z nałożonymi powłokami stopowymi, nożami tokarskimi z płytkami wykonanymi z regularnego azotku boru: okrągłymi N123J1-0600-RE CB7015 oraz trygonalnymi WNMG 080408 S01030A z borazonu CB7015, a także płytkami trygonalnymi WNMG 080408-KF z węgla spiekane gatunku GC3215. Dla próbek z powłokami stopowymi, które były toczone płytkami kwadratowymi SNGA 120408 S01030A z borazonu CB7015, zarejestrowano największe wartości parametrów chropowatości.

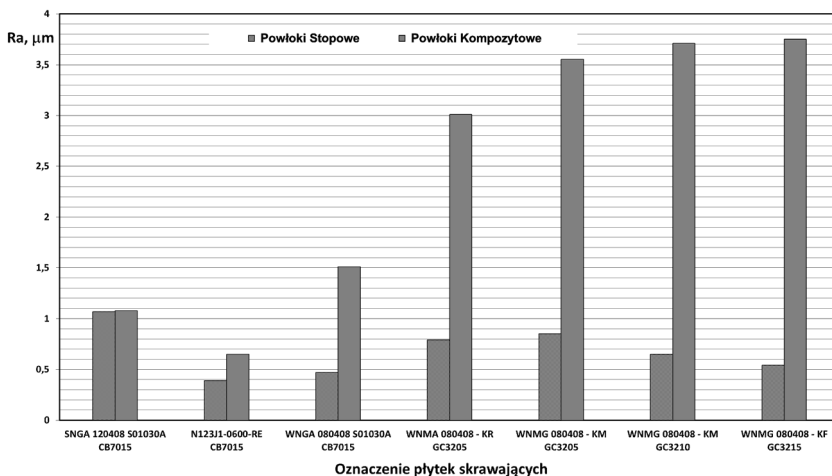


Rys. 5. Zużycie płytki skrawającej WNGA 080408 S01030A z borazonu CB7015 po toczeniu:

a) powłok stopowych Ni-5%Al, b) powłok kompozytowych Ni-5%Al-15%Al₂O₃

Fig. 5. Turning tool wear for WNGA 080408 S01030A CB7015:

a) alloy Ni-5%Al, b) composite Ni-5%Al-Al₂O₃ coatings



Rys. 6. Średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości po toczeniu powłok stopowych Ni-5%Al oraz powłok kompozytowych Ni-5%Al-15%Al₂O₃

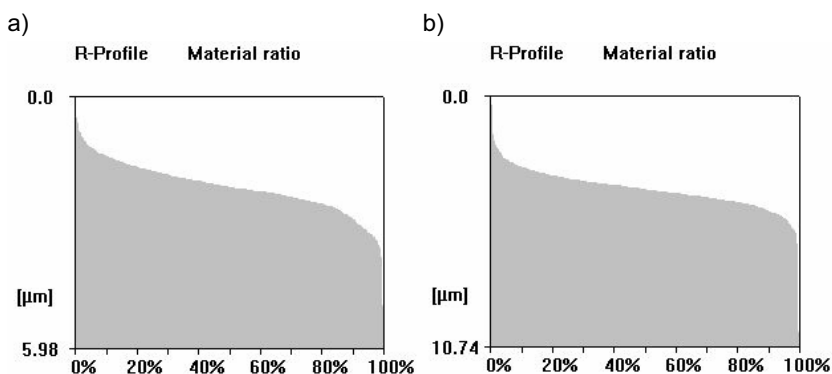
Fig. 6. The arithmetical mean deviation of the assessed profile after turning alloy Ni-5%Al and composite Ni-5%Al-Al₂O₃ coatings

Po obróbce skrawaniem powłok kompozytowych Ni-5%Al-15%Al₂O₃ za pomocą noży tokarskich z płytką skrawającą kwadratową SNGA 120408 S01030A z regularnego azotku boru (gatunek CB7015), mocowaną w oprawce DSDNN2525M12, określono, że średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości powierzchni osiągała mniejszą wartość w porównaniu do chropowatości powierzchni obrobionej za pomocą płytki skrawającej, wykonanej z tego samego gatunku (CB7015), ale również i z węglików spiekanych (o gatunkach: GC3205,

GC3210, GC3215) dla kształtu trygonalnego płytek skrawających. Najmniejszą wartość średniej arytmetycznej rzędnych profilu chropowatości powierzchni uzyskuje powłoka kompozytowa toczona okrągłą płytką skrawającą N123J1-0600-RE, umieszczoną w oprawce RF123J13-2525BM. Płytką okrągłą po toczeniu powłok kompozytowych cechuje się tym, że nie zaobserwowano zużycia na powierzchni przyłożenia i natarcia przy zachowaniu stałej drogi skrawania.

Po toczeniu płytkami skrawającymi okrągłymi N123J1-0600-RE w oprawce RF123J13-2525BM najmniejszą wartość średniej arytmetycznej rzędnych profilu chropowatości powierzchni uzyskują zarówno powłoki stopowe, jak i powłoki kompozytowe. Na podstawie określonej chropowatości powierzchni powłok kompozytowych poddanych bardzo dokładnemu toczeniu przy zachowaniu dużej trwałości ostrza płytek skrawających wydaje się zasadne zaproponowanie jako optymalnych płytek o kształcie okrągłym, trygonalnym i kwadratowym z regularnego azotku boru gatunku CB7015. Zasadne jest przy tym stosowanie do toczenia powłok stopowych płytek okrągłych i trygonalnych z borazonu i trygonalnych z węgla spiekane go gatunku GC3215, natomiast do toczenia powłok kompozytowych – płytek okrągłych i kwadratowych z regularnego azotku boru gatunku CB7015.

Na rysunku 7 przedstawiono krzywe udziału materiałowego profilu chropowatości powierzchni toczonych powłok stopowych Ni-5%Al i kompozytowych Ni-5%Al-15%Al₂O₃, uzyskanych z wykorzystaniem płytek skrawających, wykonanych z regularnego azotku boru o gatunku CB7015.

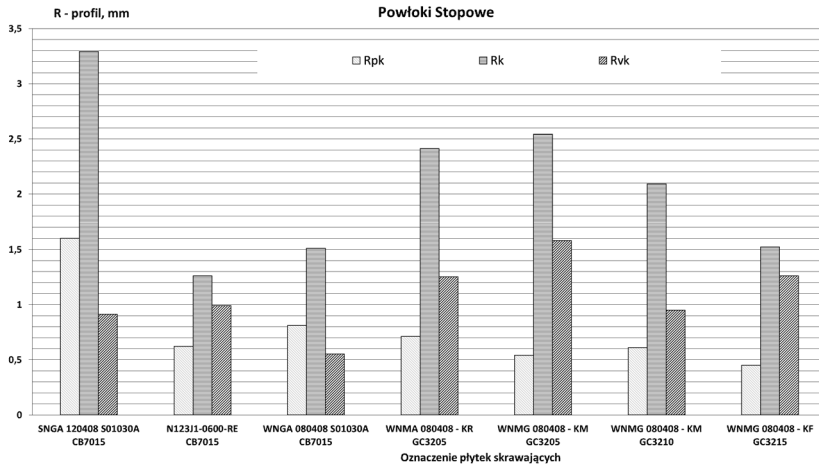


Rys. 7. Krzywe udziału materiałowego profilu chropowatości toczonych powłok:
a) stopowych Ni-5%Al i b) kompozytowych Ni-5%Al-Al₂O₃
dla okrągłych płytek z borazonu CB7015

Fig. 7. The Abbott-Firestone curve surface roughness after turning:
a) alloy Ni-5%Al and b) composite Ni-5%Al-Al₂O₃ coatings
for round inserts made of borazon CB7015

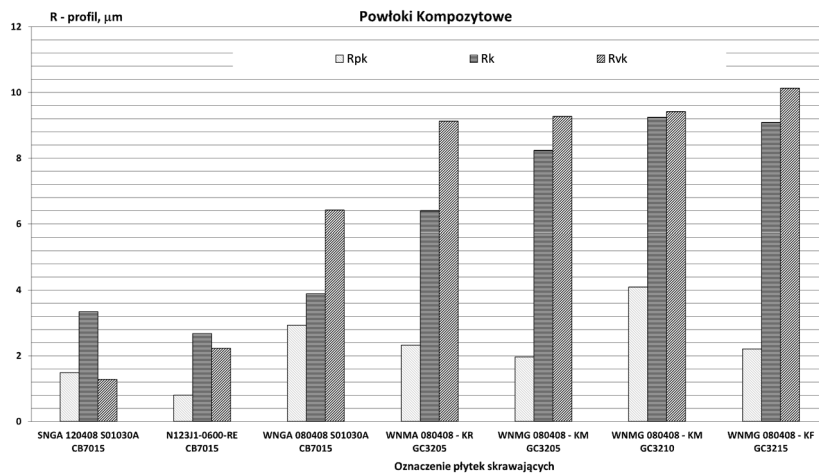
Na podstawie wyników zamieszczonych na rysunku 8 można stwierdzić, że najmniejsze wartości parametrów chropowatości związanych z krzywą udziału materiałowego (R_k, R_{pk}, R_{vk}) występują dla próbek z naniesioną powłoką stopową, które były toczone za pomocą płytek okrągłych N123J1-0600-RE CB7015 oraz

trygonalnych (WNMG 080408 S01030A z borazonu gatunku CB7015, WNMG 080408-KF z węgla spiekane go gatunku GC3215). Natomiast największe wartości parametrów chropowatości były dla próbek toczonego płytami kwadratową SNGA 120408 S01030A z borazonu CB7015 i trygonalną WNMG 080408-KM z węgla spiekane go GC3205.



Rys. 8. Parametry chropowatości związane z krzywą udziału materiałowego dla próbek po toczeniu powłok stopowych Ni-5%Al

Fig. 8. The characterized parameters of the Abbott-Firestone curve for samples after turning alloy Ni-5%Al coatings



Rys. 9. Parametry chropowatości związane z krzywą udziału materiałowego dla próbek po toczeniu powłok kompozytowych Ni-5%Al-15%Al₂O₃

Fig. 9. The characterized parameters of the Abbott-Firestone curve for samples after turning composite Ni-5%Al-Al₂O₃ coatings

Na podstawie wyników zamieszczonych na rysunku 9 można stwierdzić, że najmniejsze wartości parametrów chropowatości związanych z krzywą udziału materiałowego (R_k , R_{pk} , R_{vk}) występują dla próbek z naniesioną powłoką kompozytową, które były toczone za pomocą płytek okrągłych N123J1-0600-RE CB7015 i kwadratowych SNGA 120408 S01030A z borazonu CB7015. Natomiast największe wartości parametrów chropowatości były dla próbek toczonech płytkami trygonalnymi.

PODSUMOWANIE

Po przeprowadzonej analizie wyników badań ustalono, że ze względu na uzyskanie jak najmniejszej chropowatości powierzchni toczonej powłok stopowych Ni-5%Al, przy jak najmniejszym zużyciu płytki skrawającej na powierzchni przyłożenia i natarcia, dla stałej drogi skrawania, wskazane jest stosowanie trygonalnych płytek skrawających, wykonanych z regularnego azotku boru o gatunku CB7015, a także z węglika spiekanego o gatunku GC3215 oraz płytek o profilu okrągłym z borazonu o gatunku CB7015.

Chropowatość powierzchni obrabianej powłoki stopowej Ni-5%Al, poddanej toczeniu płytką trygonalną z borazonu, jest trzykrotnie mniejsza niż chropowatość powłoki Ni-5%Al toczonej płytką kwadratową. Niewskazane jest zatem stosowanie płytek kwadratowych do obróbki skrawaniem powłok stopowych.

Po przeprowadzonych badaniach toczenia wykończeniowego powłok kompozytowych określono, że ze względu na uzyskanie jak najmniejszej chropowatości powierzchni, przy jak najmniejszym zużyciu płytki skrawającej na powierzchni przyłożenia i natarcia, dla stałej drogi skrawania, celowe byłoby stosowanie płytek skrawających: okrągłych, kwadratowych i trygonalnych, wykonanych z regularnego azotku boru gatunku CB7015.

Do toczenia wykończeniowego wałów napędowych stalowych z naniesionymi powłokami stopowymi (np. wałów napędowych stosowanych w pompach odśrodkowych wody morskiej) należałoby zastosować okrągłe i trygonalne płytki skrawające z borazonu CB7015 i trygonalne z węglika spiekanego GC3215.

Natomiast do toczenia wykończeniowego wałów z naniesionymi powłokami kompozytowymi należałoby stosować kwadratowe i okrągłe płytki skrawające z borazonu CB7015.

LITERATURA

1. Arunachalama R.M., Mannana M.A., Spowage A.C., *Residual stress and surface roughness when facing age hardened Inconel 718 with CBN and ceramic cutting tools*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44 (2004), 879–887.
2. Arunachalama R.M., Mannana M.A., Spowage A.C., *Surface integrity when machining age hardened Inconel 718 with coated carbide cutting tools*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44 (2004), 1481–1491.

3. Bin Z., Ming C., Chuanzhen H., Qinglong A., *Study on surface damages caused by turning NiCr20TiAl nickel-base alloy*, Journal of Materials Processing Technology, 209 (2009), 5802–5809.
4. Cheung C.F., Chan K.C., To S., Lee W.B., *Effect of reinforcement in ultra-precision machining of Al6061/SiC metal matrix composites*, Scripta Materialia, 47 (2002), 77–82.
5. Costes J.P., Guillet Y., Poulachon G., Dessoly M., *Tool-life and wear mechanisms of CBN tools in machining of Inconel 718*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 47 (2007), 1081–1087.
6. Courbon C., Kramar D., Krajnik P., Pusavec F., Rech J., Kopac J., *Investigation of machining performance in high-pressure jet assisted turning of Inconel 718: An experimental study*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 49 (2009) 1114–1125.
7. Dabade U.A., Dapkekar D., Joshi S.S., *Modeling of chip–tool interface friction to predict cutting forces in machining of Al/SiCp composites*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 49 (2009), 690–700.
8. Dudzinski D., Devillez A., Moufk A., Larrouque`re D., Zerrouki V., Vigneau J., *A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44 (2004), 439–456.
9. Dyl T., *The influence of burnishing on the surface layer strengthening ship machine*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 64 (2010), 36–42.
10. Dyl T., *The influence of relative draft on the intermetallic coatings surface roughness decrease ratio*. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 60 (2009), 94–99.
11. Dyl T., *The influence of the relative draft on the surface roughness and strain hardening surface layer after burnishing*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 60 (2009), 100–104.
12. Dyl T., Starosta R., *Determining the effect of the geometry and type of inserts on the geometric structure of turned composite coatings*, Inżynieria Materiałowa, nr 6(190) (2012), 701–704.
13. Ezugwu E.O., *Improvements in the machining of aero-engine alloys using self-propelled rotary tooling technique*, Journal of Materials Processing Technology, 185 (2007), 60–71.
14. Ezugwu E.O., Bonney J., Fadare D.A., Sales W.F., *Machining of nickel-base, Inconel 718, alloy with ceramic tools under finishing conditions with various coolant supply pressures*, Journal of Materials Processing Technology, 162–163 (2005), 609–614.
15. Kannan S., Kishawy H.A., *Surface characteristics of machined aluminium metal matrix composites*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 46 (2006), 2017–2025.
16. Labuda W., Charchalis A., *Preliminary research on tribologic wear of marine pump shaft pins*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 81 (2013), 55–62.
17. Li W., Withers P.J., Axinte D., Preuss M., Andrews P., *Residual stresses in face finish turning of high strength nickel-base d superalloy*, Journal of Materials Processing Technology, 209 (2009), 4896–4902.
18. López de Lacalle L.N., Gutiérrez A., Lamikiz A., Fernandes M.H., Sánchez J.A., *Turning of Thick Thermal Spray Coatings*, Journal of Thermal Spray Technology, 10 (2001), 249–254.
19. *Materiały informacyjne*, Messer-Castolin, 2009.
20. Morel S., *Powłoki natryskiwane cieplnie*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1997.
21. Nadasi E., *Nowoczesne metody metalizacji natryskowej*, WNT, Warszawa 1975.
22. Pawade R.S., Joshi S.S., Brahmanekar P.K., *Effect of machining parameters and cutting edge geometry on surface integrity of high-speed turned Inconel 718*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 48 (2008), 15–28.
23. Pawade R.S., Joshi S.S., Brahmanekar P.K., Rahman M., *An investigation of cutting forces and surface damage in high-speed turning of Inconel 718*, Journal of Materials Processing Technology, 192–193 (2007), 139–146.

24. Pramanik A., Neo K.S., Rahman M., Li X.P., Sawa M., Maeda Y., *Ultra-precision turning of electroless-nickel: Effect of phosphorus contents, depth-of-cut and rake angle*, Journal of Materials Processing Technology, 208 (2008), 400–408.
25. Remadna M., Rigal J.F., *Evolution during time of tool wear and cutting forces in the case of hard turning with CBN inserts*, Journal of Materials Processing Technology, 178 (2006), 67–75.
26. Starosta R., Charchalis A., Dyl T., *Dobór technologii natryskiwania cieplnego oraz nagniatania w aspekcie poprawy właściwości eksploatacyjnych wałów pomp krętnych*, Sprawozdanie z projektu badawczego własnego N504 303537, Gdynia 2012, s. 1–306.
27. Starosta R., Żurawek B., *Ocena wykorzystania ciepła wewnętrznego łuku elektrycznego do hartowania powierzchniowego stali*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 60 (2009), 36–42.
28. Thakur D.G., Ramamoorthy B., Vijayaraghavan L., *Study on the machinability during high speed turning*, Materials and Design, 30 (2009), 1718–1725.
29. *Turning Tools for Finishing*, Sandvik Coromant, 2009.
30. *Warstwy azotku tytanu – TiN – początek ery twardych pokryć*, Koszalin, <http://www.tu.koszalin.pl/technologie-hybrydowe> [10.02.2010].
31. Yamaguchi T., Higuchi M., Shimada S., Kaneeda T., *Tool life monitoring during the diamond turning of electroless Ni–P*, Precision Engineering, 31 (2007), 196–201.

FINISHING TREATMENTS FOR COMPOSITE COATINGS IN THE ASPECT OF TURNING TOOLS WEAR

Summary

The structure of thermally sprayed coatings is characterized by high porosity. The area of the coatings is strongly developed, is characterized by considerable roughness, the coating often reproduce the actual shape of the surface of the substrate. Thermal spraying is a technology that does not allow for precise control of coating thickness. Therefore, thermally sprayed coatings require finish machining. Traditional methods of treatment, and shaping dimensional geometric structure of the surface layers is a machining (turning and grinding). Taking into consideration the engine room workshop equipment would be best to apply the coating turning. The study determined the relationship between the turning tools wear and the geometric structure of the surface finish and the type of material used and the shape of the inserts.

Keywords: finishing treatments, composite coatings, turning tools wear.