

Tomasz Dyl^{1*}, Robert Starosta², Robert Skoblik³

^{1, 2} Akademia Morska, Wydział Mechaniczny, Katedra Materiałów Okrętowych i Technologii Remontów, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, Poland

³ Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa, ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk, Poland

* Corresponding author. E-mail: dulu@am.gdynia.pl

Otrzymano (Received) 30.01.2008

OBRÓBKA WYKAŃCZAJĄCA POWŁOK MMC W ASPEKTCIE UMOCNIEŃ I ZMNIEJSZENIA CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI

Powłoki natryskiwane cieplnie nakładane są z uwzględnieniem naddatku na obróbkę wykańczającą. Obróbka wykańczająca powinna zapewnić nie tylko odpowiednią grubość powłok związaną z wymiarem nominalnym przedmiotu, ale również uzyskanie wymaganej chropowatości i falistości powierzchni. Najczęściej w tym celu stosuje się obróbkę wiórową, rzadziej szlifowanie. Ze względu na dużą chropowatość powłok kompozytowych o osnowie metalowej Ni-Al-Al₂O₃ natryskiwanych cieplnie zaproponowano wykorzystanie obróbki skrawaniem i obróbkę plastyczną do kształtowania ich struktury stereometrycznej. Opracowana technologia obróbki skrawaniem tylko częściowo spełniła oczekiwania, o czym może świadczyć szybkie zużywanie narzędzi skrawających czy też wrywanie ziaren ze struktury stereometrycznej powłoki podczas obróbki ścierniej, co skutkowało koniecznością częstego ostrzenia ściernicy podczas szlifowania. Istotne jest również, aby w warstwie powierzchniowej uzyskać ścisnąjący stan naprężeń własnych, co wpłynęłoby na zwiększenie trwałości elementów części maszyn. Dlatego też wskazane jest dalsze udoskonalanie technologii obróbki wykańczającej powłok kompozytowych metalowo-ceramicznych na osnowie niklowo-aluminiowej. Ze względów ekonomicznych i technologicznych istotne jest, żeby uzyskane powłoki były cienkie, odporne na ścieranie i o małej chropowatości. Zatem zaproponowano kształtowanie powłok kompozytowych poprzez obróbkę plastyczną na zimno.

Słowa kluczowe: powłoki kompozytowe o osnowie metalowej MMC, zmniejszenie chropowatości, umocnienie, obróbka wykańczająca powłok

FINISHING MMC COATINGS IN ASPECT SURFACE ROUGHNESS REDUCTION AND STRAIN HARDENING

The composite coatings were obtained by powder flame spraying. The thermal spraying coatings are characterized by great surface roughness. The Ni-Al-Al₂O₃ coating by finish turning and grinding was processed. The influence of after machining on roughness of coating was estimated. The thermal spraying nickel-based alloy coatings are used in a variety of applications: as bond coats for thermal barrier coatings on turbine components, as restorative layers for machine parts, as bond coats in internal combustion engine cylinders, for corrosion protection of boiler tubes and in numerous other applications requiring wear-, high temperature- and corrosion-resistant surfaces. The composite MMC coatings the development of new specific solutions for each types of engine. Coatings with improved corrosion resistance and abrasion resistance were also developed and are available now. A brief overview on other applications of thermal spraying in the many industry will be given also. The finishing treatment and variables of a treatment process have an effect on quality of machine elements conformance. The finishing treatment allow to obtain awaited properties of the composite MMC coatings and have influence on operation reliability of machine elements. The composite Ni-Al-Al₂O₃ coatings was machining and plastic working was proposed. Maximum values of the surface roughness reduction ratio for composite Ni-Al-Al₂O₃ coatings is obtained after rolling and after grinding. The coating subjected to cold plastic working gained a more homogeneous structure as most of the pores, which had occurred after flame spraying and after machining, were closed.

Keywords: composite MMC coatings, roughness reduction, strain hardening, finishing of coatings

WPROWADZENIE

Współcześnie w produkcji przemysłowej wyraźnie kształtuje się wzrost zapotrzebowania na materiały o nowych lub ulepszonych właściwościach, co doprowadziło do badań nad rozwojem technologii wytwarzania materiałów kompozytowych, a także metod obróbki

wykańczającej tej grupy materiałów. Materiały te coraz szerzej stosuje się w takich dziedzinach techniki, jak np.: kosmonautyka, elektronika, energetyka, przemysł zbrojeniowy, przemysł samochodowy, lotnictwo, okrętownictwo i inne. Kompozyty znalazły też zastosowanie

jako materiały powłokowe spełniające rolę ozdobną, ochronną lub nadającą warstwie powierzchniowej odpowiednie właściwości tribologiczne. Materiały kompozytowe dzielą się ze względu na osnowę metalową, polimerową lub ceramiczną. Wybór osnowy na materiał kompozytowy jest uzależniony od wymaganych właściwości wyjściowych, których celem jest np. zmniejszenie ciężaru konstrukcji, odpowiednia rozszerzalność cieplna, smarowność, sztywność, właściwa przewodność cieplna, twardość, odporność na ścieranie, promieniowanie, podwyższoną temperaturę, media chemiczne, korozję itp. [1]. Materiały kompozytowe o osnowie metalowej MMC często wykorzystywane są na powłoki. Powłoki kompozytowe o osnowie metalowej z dyspersyjnymi wtrąceniami fazy niemetalowej charakteryzują się dużą odpornością na zużycie tribologiczne. Znanych jest wiele technologii otrzymywania powłok dyspersyjnych. Najczęściej stosowane są metody galwaniczne, natryskiwanie plazmowe i naddźwiękowe HVOF. Jednak wymienione technologie wymagają dużych nakładów finansowych oraz umiejętności odpowiedniej obsługi urządzeń, dlatego nie mogą być wykorzystywane na statkach do regeneracji elementów części maszyn okrętowych w trakcie rejsu [2-4]. Określenie wpływu fazy dyspersyjnej Al_2O_3 na potencjalne własności powłok kompozytowych o osnowie niklowej, nałożonych przy użyciu technologii poddźwiękowego płomieniowego natryskiwania cieplnego, pozwala na wstępną ocenę przydatności tych metod do otrzymywania powłok kompozytowych. O wyborze tej technologii decydowały następujące czynniki: łatwa technologia, przydatna podczas napraw maszyn okrętowych (np. silników spalinowych, pomp krętnych, wirówek) w trakcie rejsu, stosunkowo małe koszty sprzętowe i materiałowe. Określono również, że możliwe jest uzyskanie powłok kompozytowych o osnowie niklowej techniką metalizacji natryskowej, natomiast dodatek Al_2O_3 nie powoduje pogorszenia przyczepności powłok. Powłoki kompozytowe na osnowie niklu otrzymane za pomocą natryskiwania cieplnego uzyskują duże wartości chropowatości powierzchni [5]. Dlatego powłoki te muszą być poddane obróbce wykańczającej. Najczęściej stosuje się obróbkę wiórową i ścierną (np. toczenie, szlifowanie).

Po przeprowadzonych wstępnych badaniach eksperymentalnych obróbki wykańczającej powłok Ni-Al oraz Ni-Al- Al_2O_3 natrykiwanych płomieniowo oceniono jakość powierzchni na podstawie pomiaru średniego arytmetycznego odchylenia profilu chropowatości. Pomimo zastosowania obróbki skrawaniem powłoki stopowe natrykiwane płomieniowo cechowały się w dalszym ciągu znaczną chropowatością. Parametr R_a chropowatości powierzchni tych powłok, w zależności od metody nakładania oraz prędkości skrawania, mieścił się w przedziale od 2,55 do 7,79 μm [6]. Tak duże wartości parametru R_a prawdopodobnie były spowodowane wadami w strukturze stereometrycznej powierzchni powłoki wynikającymi z: porowatości powłok, mecha-

nicznego wrywania cząstek materiału powłokowego, głównie fazy tlenkowej, podczas toczenia. Zatem w celu opracowania technologii obróbki wykańczającej pozwalającej na poprawienie jakości powierzchni powłok kompozytowych zaproponowano zastosowanie odpowiednich parametrów obróbkowych szlifowania i skrawania oraz dobrano narzędzie skrawające o ujemnym kącie przyłożenia, wykonane z węglików spiekanych, zalecane do obróbki nadstopów żaroodpornych i stopów tytanu przy niewielkich prędkościach skrawania, odznaczające się dobrą odpornością na wstrząsy cieplne i mechaniczne podczas obróbki ciągłej i przerywanej. Po przeprowadzonych badaniach oceniono wpływ toczenia oraz szlifowania na chropowatość powłok kompozytowych Ni-Al- Al_2O_3 natrykiwanych cieplnie. Następnie wykonano próby walcowania na zimno powłok kompozytowych MMC, aby ocenić możliwość zastosowania obróbki plastycznej do kształtowania struktury stereometrycznej powłok kompozytowych Ni-Al- Al_2O_3 natrykiwanych cieplnie.

ZAKRES BADAŃ

Celem pracy jest określenie wpływu parametrów obróbki skrawaniem (poprzez toczenie i szlifowanie), a także wpływu obróbki plastycznej na jakość powierzchni obrobionej wałków ze stali C45, z naniesioną powłoką stopową Ni-Al (o składzie w % masy: Ni-94%, Al-5%, B-1%) [5] oraz powłoką kompozytową Ni-Al- Al_2O_3 (gdzie materiał powłokowy stanowił mieszaninę osnowy Ni-Al z 45% udziałem objętościowym fazy dyspersyjnej tlenku glinu). Badania eksperymentalne prowadzono w Katedrze Materiałów Okrętowych i Technologii Remontów na Wydziale Mechanicznym Akademii Morskiej w Gdyni.

Założenia dotyczące badań przewidywały natryskiwanie dwóch rodzajów powłok dwoma metodami natryskiwania płomieniowego oraz późniejsze poddanie próbek z nałożonymi powłokami obróbce wiórowej i ściernej oraz plastycznej. Toczenie przeprowadzono dla trzech prędkości skrawania. Szlifowanie powłok stopowych i kompozytowych przeprowadzono przy stałych parametrach skrawania.

Powierzchnię, na którą naniesiono powłoki stopowe i kompozytowe, przygotowano w odpowiedni sposób poprzez toczenie zgrubne, następnie nałożono powłoki podkładowe oraz odfuszczone i oczyszczone z produktów utleniania. Natryskiwanie płomieniowe poddźwiękowe proszkowe powłok stopowych i kompozytowych prowadzono przy założonych parametrach: ciśnienie gazu palnego - acetylenu: 0,07 MPa, ciśnienie tlenu: 0,4 MPa, odległość palnika od natrykiwanej powierzchni: 150 mm, liczba nakładanych warstw: 12 - uzyskane grubości powłok wynosiły $h_p = 0,6 \div 1,2$ mm [5, 6]. Przed nakładaniem powłok Ni-Al oraz Ni-Al- Al_2O_3 metodą natryskiwania płomieniowego poddźwiękowego

proszkowego „na zimno” (gdzie materiał podłoża był wstępnie podgrzewany do temperatury około 100°C, a po natryskiwaniu temperatura próbki nie przekroczyła 250°C) i „na gorąco” (podłoże podgrzewano do temperatury około 250°C, następnie prowadzono proces natryskiwania, uzyskując temperaturę przedmiotu w granicach 500÷600°C) [2, 3, 5] wykonane zostały pomiary chropowatości powierzchni wałków. Chropowatość R_a powierzchni wałków przed natryskiwaniem powłok wynosiła od 8 do 16 μm . Natomiast średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości powłoki uzyskanej poprzez natryskiwanie cieplne „na zimno” i „na gorąco” wynosiło około 13 μm .

Obróbka wykańczająca toczeniem natrykiwanych powłok stopowych i kompozytowych została wykonana na tokarce uniwersalnej TU 1000. Podczas obróbki obu rodzajów powłok zastosowano następujące parametry skrawania: posuw $f_n = 0,08$ mm/obr; głębokość skrawania $a_p = 0,05$ mm; prędkość skrawania $V_{c1} = 21$ m/min, $V_{c2} = 66$ m/min, $V_{c3} = 105$ m/min. Do badań zastosowano płytki wielostrzowe TNMG 16 04 08-23 H10F o ujemnym kącie przyłożenia, firmy Sandvik Coromant, wykonane z węglików spiekanych, zalecane do obróbki nadstopów i stopów tytanu przy niewielkich prędkościach skrawania, odznaczające się dobrą odpornością na wstrząsy cieplne i mechaniczne podczas obróbki ciągłej i przerywanej, niewymagającej smarowania. Do mocowania płytki w imaku narzędziowym wykorzystano uniwersalną oprawkę mocującą T-Max P z mocowaniem sztywnym płytki o symbolu DTG NR 2020 K16.

Obróbka ścierna powłok stopowych i kompozytowych wykonana została na szlifiernie 3B161 produkcji radzieckiej firmy XC3 Stankoimport. Prędkość obrotowa ściernicy wynosiła $V = 42$ m/s.

WYNIKI BADAŃ

Obróbkę wykańczającą powłok stopowych Ni-Al i kompozytowych Ni-Al-Al₂O₃ przeprowadzono za pomocą obróbki wiórowej, ścierniej i plastycznej. Powłokę stopową Ni-Al natrykiwaną cieplnie „na zimno” poddano toczeniu bez użycia środka chłodząco-smarującego. Podczas toczenia powłoki Ni-Al natrykiwanej „na zimno” płytka wielostrzowa zachowywała się poprawnie. Powłoka wykazywała dobrą skrawalność. Na płycie skrawającej nie wystąpiły żadne widoczne uszkodzenia czy defekty. Powłoka Ni-Al natrykiwana „na gorąco” poddana została obróbce wykańczającej tą samą płytką co powłoka Ni-Al „na zimno”, przy tych samych parametrach skrawania. Podobnie jak poprzednia powłoka, ta również wykazywała dobrą skrawalność, a podczas jej obróbki nie zaistniały żadne uszkodzenia płytki skrawającej. Toczenie powłoki kompozytywnej Ni-Al-Al₂O₃ natrykiwanej „na gorąco” przeprowadzono bez użycia środka chłodząco-smarującego. Przy najmniejszej założonej prędkości skrawania $V_{c1} = 21$ m/min

płytką do toczenia uległa zużyciu, nastąpiło szybkie starcie na powierzchni przyłożenia. Powłoka natomiast została przetoczona jedynie w niewielkim stopniu o niskiej jakości powierzchni obrobionej. Następnie podjęto próbę toczenia powłoki z prędkością $V_{c2} = 66$ m/min, jednak przy tej próbie zjawisko jedynie nasiliło się, a w końcu płytka uległa całkowitemu uszkodzeniu, wystąpiły pęknięcia cieplne prostopadłe do krawędzi skrawającej. Do kolejnej próby obróbki wykańczającej powłoki kompozytywnej Ni-Al-Al₂O₃ natrykiwanej „na gorąco” zastosowano płyn chłodząco-smarujący w postaci oleju emulgującego Emulgol ES-12, co wpłynęło na poprawę procesu skrawania. Pomimo zastosowania oleju smarującego powierzchnia przyłożenia płytki uległa zużyciu. Po toczeniu najmniejsze wartości chropowatości uzyskano dla największej wartości prędkości skrawania $V_{c3} = 105$ m/min.

Po obróbce ścierniej powierzchnia obrobiona detali powłoką stopową Ni-Al była idealnie gładka i wykazywała metaliczny połysk. Powłoka kompozytowa Ni-Al-Al₂O₃ wykazywała nieco gorszą szlifowalność. Na powierzchni obrobionej widoczne były wady powierzchniowe, mogące być skutkiem wrywania cząstek materiału z powierzchni powłoki. Ponadto podczas obrabiania powłoki kompozytywnej ściernica wykazywała oznaki stępienia, należało dokonywać częstego ostrzenia ściernicy.

Walcowanie powłok stopowych i kompozytowych wykonano w Laboratorium Obróbki Plastycznej Katedry Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej. Walcowanie prowadzono na zimno w temperaturze otoczenia w walcu laboratoryjnym duo o średnicy walców $\phi 200$ mm i długości beczki 250 mm, dla gniotu rzeczywistego $\phi_h = 0,06; 0,12$. Oceniono, że powierzchnia powłok stopowych i kompozytowych wykazuje się znacznie lepszą jakością w porównaniu do powłok poddanych obróbce skrawaniem.

Ocenę przyczepności powłok stopowych i kompozytowych do podłoża przeprowadzono przed i po obróbce wiórowej, ścierniej i plastycznej, zgodnie z normą PN-79/H-04607 dwiema metodami jakościowymi: metodą rys i metodą zmian temperatur. Oceny dokonano, oglądając powłokę pod mikroskopem stereoskopowym MBC-9 przy pięciokrotnym powiększeniu. Przyczepność powłoki uznawano za dobrą, jeżeli nie zaobserwowano złuszczeń, pęcherzy lub odwarstwień. Zastosowane jakościowe metody oceny rozpatrywanej właściwości powłok nie wykazały negatywnego wpływu obróbki wykańczającej na ich przyczepność do stalowego podłoża.

Chropowatość powierzchni po obróbce wykańczającej mierzono w KMOiTR AM w Gdyni profilometrem HOMMEL TESTER T1000. Długość odcinka pomiarowego wynosiła 4,8 mm, a odcinka elementarnego 0,8 mm. Na podstawie pomiaru średniego arytmetycznego odchylenia profilu chropowatości (parametr R_a)

wyznaczono wskaźnik zmniejszenia chropowatości powierzchni

$$K_{Ra} = \frac{R'_a}{R_a} \quad (1)$$

gdzie: R'_a - chropowatość powierzchni powłoki przed obróbką wykańczającą, R_a - najmniejsza chropowatość powierzchni powłoki po obróbce wykańczającej.

Pomiaru mikrotwardości dokonano za pomocą twardościomierza typu Vickersa za pomocą przyrządu typu H, montowanego w uchwycie mikroskopu metalograficznego Vertival przy obciążeniu 0,4 N. W celu oceny wpływu parametrów procesu technologicznego na mikrotwardość obrabianej powłoki wyznaczono stopień względnego umocnienia powierzchni obrabianej ze wzoru

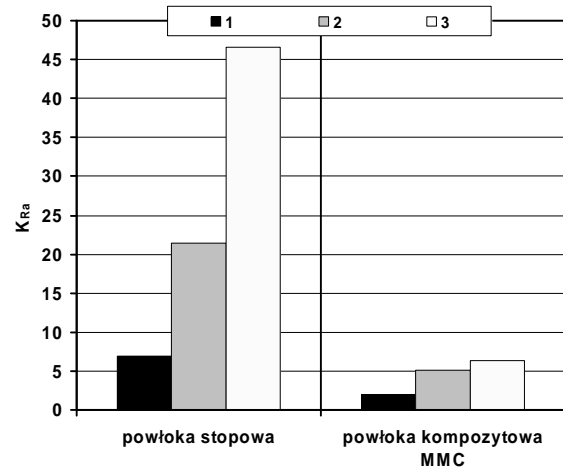
$$S_u = \frac{\mu HV_2 - \mu HV_1}{\mu HV_1} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie: μHV_1 - mikrotwardość osnowy powłoki przed obróbką wykańczającą, μHV_2 - mikrotwardość osnowy powłoki po obróbce wykańczającej.

Na rysunku 1 przedstawiono wskaźnik zmniejszenia chropowatości powierzchni po dokonaniu obróbki wykańczającej za pomocą toczenia, szlifowania i walcowania powłok stopowych i kompozytowych na osnowie metalowej MMC. W największym stopniu zmniejszyła się chropowatość powierzchni obrabianej po szlifowaniu, a w najmniejszym po toczeniu. Po walcowaniu powłoki kompozytowe uzyskały porównywalną chropowatość powierzchni jak po szlifowaniu, jednak po walcowaniu nastąpiło zmniejszenie porowatości powłok. Ponadto obróbka plastyczna jest obróbką bezwiotrową, niepowodującą ubytku materiału powłokowego. Proces technologiczny kształtowania plastycznego powłok kompozytowych MMC zarówno natryskiwanych „na zimno”, jak i „na gorąco”, przebiegał prawidłowo i bez większych trudności, natomiast przy obróbce ścierniej z powierzchni obrabianej wyrwane były cząstki materiału powłokowego, a także należało często ostrzyć ściernicę. W związku z tym wydaje się celowe, ze względów technologicznych i ekonomicznych, stosowanie obróbki plastycznej do kształtowania właściwości stereometrycznych powłok kompozytowych. Aby uzyskać jeszcze lepszą jakość powierzchni obrabianej powłok kompozytowych MMC, zaproponowana zostanie obróbka nagniataniem, polegająca na powierzchniowym odkształceniu plastycznym.

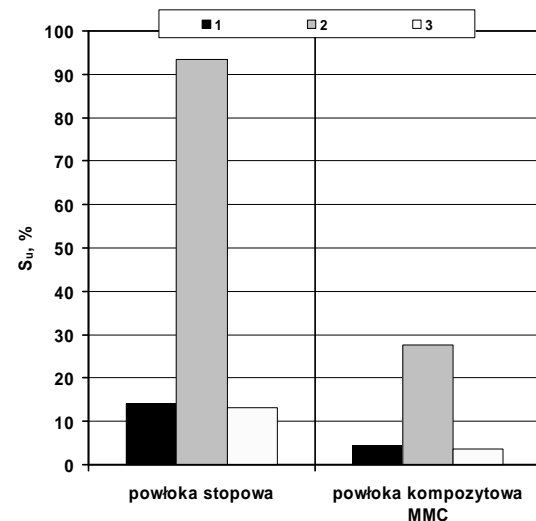
Na rysunku 2 przedstawiono stopień względnego umocnienia powierzchni obrabianej po toczeniu, szlifowaniu i obróbce plastycznej powłok stopowych Ni-Al i kompozytowych Ni-Al-Al₂O₃. Można zauważyć, że w niewielkim stopniu nastąpiło umocnienie powłok kompozytowych i stopowych w wyniku obróbki skra-

waniem. Natomiast w znacznym stopniu nastąpił wzrost umocnienia powłok stopowych i kompozytowych poddanych obróbce plastycznej przez walcowanie. Zatem w powłokach uzyskano ściskający stan naprężeń własnych, niewątpliwie wpłynie to na zwiększenie trwałości wytwarzanych czy regenerowanych części maszyn.



Rys. 1. Wskaźnik zmniejszenia chropowatości powierzchni (K_{Ra}) dla powłok stopowych Ni-Al i kompozytowych Ni-Al-Al₂O₃: 1 - po toczeniu, 2 - po walcowaniu, 3 - po szlifowaniu

Fig. 1. Surface roughness reduction ratio (K_{Ra}) for composite Ni-Al-Al₂O₃ and alloy Ni-Al coatings: 1 - after turning, 2 - after rolling, 3 - after grinding



Rys. 2. Stopień względnego umocnienia powierzchni (S_u) dla powłok stopowych Ni-Al i kompozytowych Ni-Al-Al₂O₃: 1 - po toczeniu, 2 - po walcowaniu, 3 - po szlifowaniu

Fig. 2. Degree of strain hardening relative (S_u) for composite Ni-Al-Al₂O₃ and alloy Ni-Al coatings: 1 - after turning, 2 - after rolling, 3 - after grinding

Toczenie powłok stopowych zarówno natryskiwanych „na zimno”, jak i natryskiwanych „na gorąco” przebiegało prawidłowo, płytka skrawająca nie uległa żadnemu uszkodzeniu, natomiast sama powłoka stopowa Ni-Al odznaczała się dużą gładkością. Podczas toczenia powłok Ni-Al-Al₂O₃ nakładanych „na gorąco” wykorzystana płytka uległa uszkodzeniu. Po przetocze-

niu można było stwierdzić, że powłoka wykazuje oznaki mogące wskazywać na „wrywanie” cząstek ze struktury stereometrycznej powłoki. Powłoka Ni-Al-Al₂O₃ natryskiwana „na zimno” pomimo zastosowania oleju emulgującego Emulgoł ES-12 również wykazywała bardzo niską podatność na obróbkę toczeniem. Podczas jej obróbki płytki także uległy uszkodzeniu. Obróbka poprzez szlifowanie powłok stopowych Ni-Al oraz kompozytowych Ni-Al-Al₂O₃ natryskiwanych obiema metodami przeprowadzona została przy ustalonych parametrach skrawania. Powłoka Ni-Al wykazywała po obróbce „metaliczny” połysk oraz dużą gładkość, co mogło wskazywać na znaczną poprawę wartości parametru R_a w porównaniu ze stanem przed obróbką. Powłoka nie wykazywała ponadto oznak wrywania ziaren ze struktury stereometrycznej powłoki. Powłoki Ni-Al-Al₂O₃ zostały poddane szlifowaniu, jednak ściernica podczas szlifowania uległa stępieniu i konieczne było przeprowadzanie ostrzenia ściernicy w trakcie obróbki powłok.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie wyników uzyskanych z badań można stwierdzić, że:

- po obróbce skrawaniem (przez toczenie i szlifowanie), a także po obróbce plastycznej następuje zmniejszenie chropowatości powierzchni powłok kompozytowych MMC,
- po obróbce szlifowaniem powłoki Ni-Al wykazywały mniejszą chropowatość od powłoki Ni-Al-Al₂O₃,
- wzrost prędkości toczenia powoduje zmniejszenie chropowatości powierzchni,
- powłoki Ni-Al oraz Ni-Al-Al₂O₃ natryskiwane metodą „na gorąco” wykazywały po szlifowaniu mniejszą chropowatość R_a , w porównaniu do powłok Ni-Al oraz Ni-Al-Al₂O₃ natryskiwanych „na zimno”,
- dla powłok natryskiwanych cieplnie, po walcowaniu, średnie arytmetyczne odchylenia profilu nierówności uzyskały małe wartości ($R_{a1} = 0,28 \mu\text{m}$ dla $\varphi_h = 0,12$, $R_{a1} = 0,33 \mu\text{m}$ dla $\varphi_h = 0,06$) w porównaniu do profilu chropowatości powierzchni po toczeniu,

- powłoki kompozytowe MMC poddane obróbce plastycznej charakteryzowały się równie niską chropowatością powierzchni, znacznym umocnieniem, bardziej jednorodną strukturą (zostały zamknięte w większości pory powstałe po natryskiwaniu cieplnym) w porównaniu do powłok po obróbce ścierniej.

Powłoka kompozytowa została poddana obróbce wykańczającej poprzez toczenie oraz szlifowanie. Jednakże opracowana technologia nie spełniła do końca oczekiwań, o czym mogą świadczyć pewne trudności zaistniałe podczas obróbki skrawaniem (szybkie zużywanie narzędzi skrawających) czy też prawdopodobne wrywanie ziaren ze struktury stereometrycznej powłoki. Dlatego też wskazane jest dalsze udoskonalanie technologii obróbki wykańczającej powłok Ni-Al-Al₂O₃. Powłoki kompozytowe po walcowaniu uzyskały zbliżone wartości chropowatości powierzchni jak po szlifowaniu, natomiast stopień względnego umocnienia uzyskał dużo większe wartości. Zatem zaproponowana zostanie powierzchniowa obróbka plastyczna powłok stopowych i kompozytowych MMC natryskiwanych cieplnie jako alternatywna obróbka wykańczająca do obróbki ścierniej.

LITERATURA

- [1] Dobrzański L.A., Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, WNT, Gliwice-Warszawa 2002.
- [2] Klimpel A., Technologie napawania i natryskiwania cieplnego, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
- [3] Piaseczny L., Technologia naprawy okrętowych silników spalinowych, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1992.
- [4] Starosta R., Zieliński A., Effect of chemical composition on corrosion and wear behaviour of the composite Ni-Fe-Al₂O₃ coating, Journal of Materials Processing Technology 2004, 157-158, 434-441.
- [5] Starosta R., Klatt K., Ocena podatności technologii natryskiwania płomieniowego ROTO-TECK do nakładania powłok kompozytowych Ni-Al₂O₃, Materiały i Technologie, Roczniki Naukowe Pomorskiego Oddziału PTM 2004, 2, 191-194.
- [6] Starosta R., Dyl T., Obróbka wykańczająca powłok Ni-Al oraz Ni-Al-Al₂O₃, natryskiwanych płomieniowo, Materiały i Technologie, Roczniki Naukowe Pomorskiego Oddziału PTM 2006, 4, 260-263.