

**Robert STAROSTA<sup>\*</sup>, Tomasz DYL<sup>\*</sup>**

## **OBRÓBKA WYKAŃCZAJĄCA NATRYSKIWANYCH PŁOMIENIOWO POWŁOK Ni-Al, OCENA ZUŻYCIA BORAZONOWYCH PŁYTEK SKRAWAJĄCYCH**

### **FINISHING OF FLAME SPRAYED Ni-AL COATINGS AND AN ESTIMATE OF CBN INSERT WEAR**

#### **Słowa kluczowe:**

natryskiwanie płomieniowe, powłoki Ni-Al, CBN

#### **Key words:**

flame spraying, Ni-Al coatings, CBN insert

#### **Streszczenie**

Obróbkę wykańczającą natryskiwanych płomieniowo powłok Ni-5%Al prowadzono poprzez bardzo dokładne toczenie wzdłużne za pomocą noży tokarskich wyposażonych w borazonowe płytki skrawające. W pracy wyznaczono szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia i natarcia ostrza noża tokarskiego dla kwadratowej i trygonalnej płytki skrawającej przy zachowaniu stałej spiralnej długości skrawania.

---

<sup>\*</sup> Akademia Morska w Gdyni, Wydział Mechaniczny, Katedra Materiałów Okrętowych i Technologii Remontów, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, e-mail: starosta@am.gdynia.pl

## WPROWADZENIE

Na statkach, w instalacjach wody zaburtowej (np. centralnego systemu chłodzenia), często wykorzystuje się pompy krętne. W przypadku wałów pomp najczęstszą niesprawnością jest zużycie czopów (korozyjne i cierne) w miejscu montażu uszczelnień (dławnic). Obecnie podstawową metodą regeneracji wałów jest tulejowanie. Jako alternatywę dla stosowanej metody naprawy zużytych czopów wałów pomp krętnych zaproponowano natryskiwanie płomieniowe. Proces natryskiwania płomieniowego jest technologią niedrogą i łatwą do wykonania. Dlatego może z powodzeniem być wykorzystywana do regeneracji części maszyn przez załogę siłowni statku [L. 4].

Powłoki natryskiwane płomieniowo charakteryzują się porowatością, obecnością wtrąceń tlenkowych oraz silnie rozwiniętą powierzchnią rzeczywistą. Celem uzyskania odpowiedniej struktury geometrycznej powierzchni powłok trzeba zastosować obróbkę wykańczającą [L. 2, 3]. W tym celu stosuje się toczenie oraz szlifowanie. W artykule zaproponowano toczenie jako obróbkę wykańczającą powłok natryskiwanych płomieniowo.

Badano powłoki Ni-5%Al otrzymane przez proszkowe natryskiwanie płomieniowe. Użyto palnik „Casto-Dyn 8000” firmy Castolin. W praktyce powłoki natryskiwane cieplnie toczy się tym samym narzędziem co obrabiane podłoże. Na przykład firma Messner Eutectic Castolin proponuje narzędzia z kwadratową płytką wieloostrzową lub z wymienną płytką cylindryczną. Chropowatość powierzchni powłok obrabianych nożem z płytką kwadratową przy zalecanych przez Castolin parametrach obróbkowych ( $a_p = 0,05$  mm) wynosiła  $R_a = 1 - 3$   $\mu\text{m}$ . Powierzchnia o tak dużej chropowatości często wymaga jeszcze szlifowania, szczególnie w celu zapewnienia szczelności dławnic [L. 1, 7].

Celem uzyskania lepszej jakości powłoki, w pracy [L. 6] zaproponowano narzędzie skrawające o innej geometrii. Powłoki stopowe toczono kwadratową płytką skrawającą SNGA120408S01030A montowaną w oprawce DSDNN-2525M12 (kąt ostrza  $\beta = 90^\circ$ , kąt przystawienia,  $\kappa_r = 45^\circ$ , kąt przyłożenia  $\alpha = 6^\circ$ , kąt natarcia  $\gamma = -6^\circ$ ), a także z trygonalną płytką skrawającą WNGA080408S01030A montowaną w oprawce DWLNRL-2525M08 (kąt ostrza  $\beta = 80^\circ$ , kąt przystawienia,  $\kappa_r = 95^\circ$ , kąt przyłożenia  $\alpha = 6^\circ$ , kąt natarcia  $\gamma = -6^\circ$ ). Oceniono wpływ prędkości toczenia, posuwu, głębokości toczenia na chropowatość powierzchni po-

włok. Zastosowano następujące parametry skrawania:  $V = 45 - 214$  m/min, posuw  $f = 0,06 - 0,2$  mm/obr, głębokość skrawania  $a_p = 0,05 - 0,3$  mm. Najniższą wartość chropowatości powłok stopowych  $R_a = 0,5$   $\mu\text{m}$  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 chropowatość powierzchni.

## PRZYGOTOWANIE PRÓBEK

Powłoki nakładano na odfuszczonych płomieniowo wałkach stalowych (stal C45) o średnicy  $D_m = 40$  mm. W celu zwiększenia przyczepności powłok na powierzchni czopów nacięto gwint.

Podczas natryskiwania płomieniowego wykorzystano proszek ProXon 21021 (Ni-93,45%, Al-5%, B-0,8%, Fe-0,34%, Cr-0,18%, Si-0,15%, C-0,08%). Do natryskiwania użyto palnika „Casto-Dyn 8000”, firmy Castolin. Zastosowano następujące parametry natryskiwania płomieniowego:

- ciśnienie acetylenu: 0,07 MPa,
- ciśnienie tlenu: 0,4 MPa,
- ciśnienie sprężonego powietrza: 0,1 MPa,
- prędkość przesuwu palnika: 25 m/min,
- posuw: 3 mm/obr,
- odległość palnika od natryskiwanej powierzchni: 150 mm,
- rodzaj płomienia: neutralny,
- liczba nakładanych warstw: 6.

Podczas natryskiwania, wstępnie podgrzewano palnikiem stalowe podłoże do temperatury od 60 do 100°C. Następnie natryskiwano powłokę tak, aby temperatura próbki mieściła się w zakresie 80 do 100°C.

## METODYKA BADAŃ

Powłoki stopowe Ni-5%Al obrabiane były trygonalnymi oraz kwadratowymi płytkami wieloostrowymi. Jako materiał narzędziowy wybrano borazon o symbolu katalogowym CB 7015 [L. 5]. Gatunek CB 7015 to materiał narzędziowy na bazie regularnego azotku boru (CBN) z dodatkiem azotku tytanu, pokrytego powłoką TiN, nakładaną metodą PVD. Płytką WNGA080408S01030A była montowana w oprawce DWLNRL-

-2525M08. Płytką jak i oprawka były produkcji firmy Sandvik Coromant. Geometria narzędzia skrawającego uwzględniająca geometrię płytki skrawającej i oprawki była następująca [L. 5]: kąt ostrza,  $\beta = 80^\circ$ , kąt przystawienia krawędzi skrawającej,  $\kappa_r = 95^\circ$ , kąt natarcia,  $\gamma = -6^\circ$ , kąt ścinu,  $\gamma_n = -30^\circ$ , kąt przyłożenia,  $\alpha = 6^\circ$ , promień naroża,  $r_\epsilon = 0,8$  mm, brak łamacza wióra.

Wykonano również toczenie powłok za pomocą narzędzia z kwadratową płytką skrawającą (SNGA120408 S01030A) montowaną w oprawce DSDNN-2525M12. Geometria narzędzia skrawającego uwzględniająca geometrię płytki skrawającej i oprawki była następująca [L. 5]: kąt ostrza,  $\beta = 90^\circ$ , kąt przystawienia krawędzi skrawającej,  $\kappa_r = 45^\circ$ , kąt natarcia,  $\gamma = -6^\circ$ , kąt ścinu,  $\gamma_n = -30^\circ$ , kąt przyłożenia,  $\alpha = 6^\circ$ , promień naroża,  $r_\epsilon = 0,8$  mm, brak łamacza wióra.

Toczenie powłok wykonano na obrabiarce CDS-6250x1000. Zastosowano parametry toczenia: prędkość skrawania  $V_c = 214$  m/min, posuw  $f = 0,06$  mm/obr, głębokość skrawania  $a_p = 0,3$  mm.

Po toczeniu wykonano pomiary chropowatości powierzchni powłok. Posłużono się profilometrem HOMMEL TESTER T1000. Długość odcinka pomiarowego wynosiła 4,8 mm, a odcinka elementarnego 0,8 mm.

Zużycie ostrza noża tokarskiego było wyznaczane na podstawie wskaźników dla powierzchni przyłożenia i powierzchni natarcia. W celu wyznaczenia optymalnej długości skrawania w związku z tym, że przy obróbce powłok stopowych a w szczególności powłok kompozytowych występuje zazwyczaj krótka trwałość narzędzia, określono spiralną długość skrawania (SCL). Metoda wyznaczenia trwałości narzędzia do obróbki skrawaniem na podstawie obliczeniowej długości skrawania pozwoli na uzyskanie danych, które będą potrzebne, aby dobrać zalecane parametry skrawania, co pozwoli na osiągnięcie niezawodnego procesu. Spiralna długość skrawania jest stosowana w odniesieniu do płytki, geometrii, gatunku, głębokości skrawania oraz materiału, jaki jest poddawany obróbce skrawaniem.

Spiralną długość skrawania (SCL,  $m$ ) można obliczyć ze wzoru:

$$SCL = \frac{\pi D_m l_m}{1000 f_n} \quad (1)$$

gdzie:  $D_m$  – średnica przedmiotu obrabianego w części powierzchni obrobionej, mm,  $l_m$  – długość powierzchni obrobionej, mm,  $f_n$  – prędkość posuwu, mm/obr.

Przewidywalność procesu technologicznego jest istotna przy następujących operacjach:

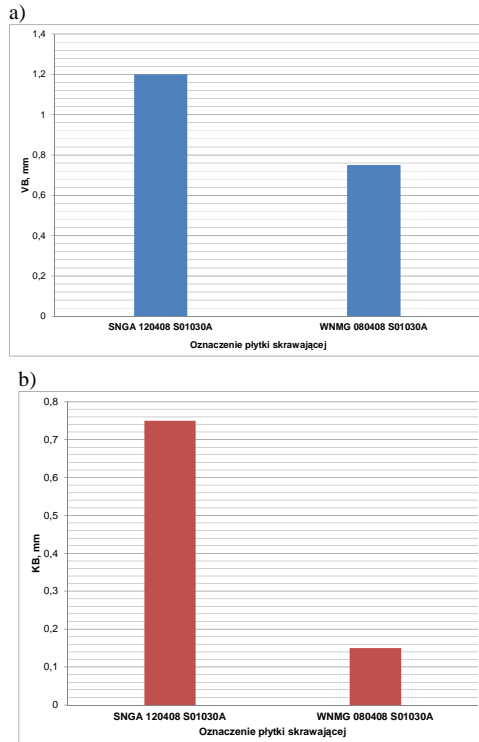
- obróbka zgrubna – kiedy należy zaprogramować zatrzymanie obrabiarki w celu wymiany płytki skrawającej,
- obróbka wykańczająca – parametry skrawania, które zapewniają, że przejście będzie zakończone z przewidywalnym zużyciem tak, aby nie było konieczności zmiany płytek w trakcie skrawania lub wykonywania powtórnego przejścia.

Przy zachowaniu stałej spiralnej długości skrawania ( $SCL=1073m$ ) dokonano obróbki skrawaniem poprzez toczenie wykańczające, a następnie wykonano pomiary chropowatości powierzchni obrobionej powłok stopowych, a także pomierzono geometryczne wskaźniki zużycia ostrza noża tokarskiego (VB – szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia, KB – szerokość wyżłobienia powierzchni natarcia).

## WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

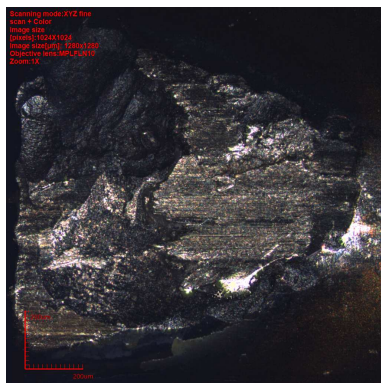
Po przeprowadzonych badaniach doświadczalnych toczenia powierzchni walcowej zewnętrznej próbek stalowych z naniesioną powłoką stopową na osnowie niklu określono, że występuje zużycie powierzchni przyłożenia i powierzchni natarcia o różnej wartości w zależności od rodzaju zastosowanego kształtu płytek skrawających. W odniesieniu do obróbki powłok określono optymalne parametry dla każdego typu płytek dla spiralnej długości skrawania  $SCL = 1073$  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 niklowej nożem tokarskim z płytką kwadratową SN-GA120408S01030A z borazonu CB7015 mocowanym w oprawce DSDNN-2525M12 określono maksymalną szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia równą  $VB = 1,2$  mm, natomiast szerokość wyżłobienia powierzchni natarcia  $KB = 0,75$  mm. Powłoki stopowe na bazie niklu poddane toczeniu płytką skrawającą kwadratową uzyskiwały chropowatość powierzchni  $R_a = 1,07$   $\mu$ m. Natomiast po toczeniu płytką

skrawającą trygonalną WNMG080408S01030A z borazonu CB7015 montowaną w oprawce DWLNRL-2525M08 największa szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia wynosiła  $VB = 0,75$  mm, natomiast na powierzchni natarcia szerokość wyłobienia była równa  $KB = 0,15$  mm. Zużycie nastąpiło w wyniku zużycia mechaniczno-ściernego powierzchni przyłożeni oraz powierzchni natarcia. Średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości powierzchni było równe  $R_a = 0,31\mu\text{m}$ . Płytką skrawającą trygonalną WNMG080408S01030A z borazonu CB7015 cechuje się prawie dwukrotnie mniejszym zużyciem powierzchni przyłożenia (**Rys. 1a**) i pięciokrotnie mniejszym zużyciem powierzchni natarcia (**Rys. 1b**) w porównaniu z płytką kwadratową SNGA120408S01030A z borazonu CB7015, gdzie zużycie powstało poprzez wykruszenie (**Rys. 2**).



**Rys. 1. Szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia (a) i szerokość wyłobienia powierzchni natarcia (b) dla płytek skrawających kwadratowej i trygonalnej z borazonu gatunku CB7015**

Fig. 1. Flank (a) and attack (b) wear indexes of square and trigonal CBN (CB7015) cutting inserts



**Rys. 2. Zużycie płytki skrawającej kwadratowej SNGA120408S01030A z borazonu gatunku CB7015**

Fig. 2. Wear of SNGA120408S01030A insert made of CB7015

## PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy wyników badań określono, że dla kryterium technologicznego dotyczącego jakości obróbki pogarszającej się w miarę narastania zużycia ostrza, celowe by było stosowanie trygonalnych płytek skrawających wykonanych z regularnego azotku boru o gatunku CB7015. Po toczeniu powłok stopowych Ni-5%Al płytkami trygonalnymi występuje najmniejsza chropowatość powierzchni, a także najmniejsze zużycie płytki skrawającej na powierzchni przyłożenia i natarcia, dla stałej spiralnej długości skrawania ( $SCL=1073m$ ). Chropowatość powierzchni obrobionej powłoki stopowej Ni-5%Al poddanej toczeniu płytką trygonalną z borazonu jest trzykrotnie mniejsza niż chropowatość powłoki Ni-5%Al toczonej płytką kwadratową.

Po obróbce wykańczającej powłok stopowych stosowanych w produkcji czy regeneracji istnieje konieczność osiągnięcia odpowiedniej jakości technologicznej elementów części maszyn okrętowych (np. wały napędowe pomp krętnych), przy zużyciu ostrza, dla którego błąd obróbki wywołany tym zużyciem osiągnie wartość zbliżoną do tolerancji wymiaru średnicy toczonej powierzchni.

## LITERATURA

1. 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*, vol. 10(2)m 2001, s. 251–254.
2. Morel S.: Powłoki natryskiwane cieplnie, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1997.
3. Nadasi E.: Nowoczesne metody metalizacji natryskowej, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1975.
4. Piaseczny L.: Technologia naprawy okrętowych silników spalinowych, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1992.
5. Sandvik Coromant. Katalog główny. Narzędzia skrawające firmy Sandvik Corromant. 2009
6. Starosta R., Chabowski R.: Selection of cutting parameters of turning the Ni-Al AND Ni-Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> flame sprayed coatings *Journal of KONES Powertrain and Transport*. Vol. 17, no 4, 2010 s.463-470
7. Dyl T., Starosta R., Skoblik R.: Obróbka wykańczająca powłok MMC w aspekcie umocnienia i zmniejszenia chropowatości. *Kompozyty*, 2, 2008, s. 147–151.

**Recenzent:**

**Janusz JANECKI**

## Summary

**Highly accurate finishing of flame spraying Ni-5%Al coatings was carried out using sliding turning by tool with CBN cutting inserts. Flank (VB) and attack (KB) wear indexes of square and trigonal cutting inserts while maintaining a constant spiral cutting length (SCL) were determined.**