

## **Projekt wstępny przeciągacza do obróbki rowków zamkowych typu „jodła” wybranej okrętowej turbiny gazowej**

Praca składa się z dwóch części. W pierwszej części skoncentrowano się na zaprezentowaniu kluczowych informacji, dotyczących zasad działania oraz warunków pracy wewnątrz turbiny gazowej. Skupiono się na nowoczesnych technologiach produkcji tarcz turbin gazowych, ze szczególnym uwzględnieniem materiałów wykorzystywanych do ich wytwarzania. Przedstawiono również typy najczęściej stosowanych rowków zamkowych w tarczach turbin gazowych oraz omówiono istotną rolę, jaką pełnią rowki zamkowe. Ponadto, dokładnie omówiono różne rodzaje oraz metody wytwarzania rowków zamkowych typu „jodła”. Przeanalizowano strukturę przeciągaczy oraz omówiono materiały wykorzystywane do ich produkcji. Przedstawione zostały rodzaje przeciągaczy oraz ich konstrukcje. W drugiej części opisano metodykę projektowania przeciągaczy oraz przeprowadzono obliczenia projektu wstępnego. Do części obliczeniowej sporządzono model 3D narzędzia w programie AutoDesk Inventor, natomiast rysunek wykonawczy przeciągacza został sporządzony w programie AutoDesk AutoCAD.

W pierwszym rozdziale omówiono rozwój technologiczny okrętowych turbin gazowych, uzupełniając go opisem głównych elementów konstrukcyjnych oraz zasad działania współczesnych turbin gazowych. Szczególną uwagę poświęcono współpracy sprężarki, komory spalania oraz turbiny, a także turbiny mocy i przekładni, uwzględniając wpływ parametrów wyjściowych na pracę śruby napędowej. Przedstawiono również podstawowy układ okrętowej turbiny gazowej oraz omówiono wady i zalety tego napędu.

W rozdziale drugim zaprezentowano materiały używane do wytwarzania tarcz turbin gazowych. Omówiono również specyficzne warunki jakie powstają wewnątrz turbiny gazowej w trakcie jej pracy. Podkreślono istotę doboru właściwych materiałów konstrukcyjnych, aby zapewnić prawidłowe działanie urządzenia. Doceniono wpływ chromu, niklu i manganu na poprawę właściwości tych materiałów. W dalszej części zaprezentowano rodzaje rowków zamkowych. Wyszczególniono rodzaje połączeń zamkowych tj.: typ „jodła”, „jaskółczy ogon”, „półka” oraz „rowek pierścieniowy”. Przedstawiono również główne elementy konstrukcyjne łopatek turbin gazowych oraz omówiono ich znaczenie. Następnie w pracy zaprezentowano technologie kształtowania rowków zamkowych. Poddano analizie następujące metody: elektrodrażenie (EDM), obróbka elektrochemiczna (ECM), frezowanie oraz przeciąganie. Zestawiono wady i zalety wszystkich wyżej wymienionych metod. Szczególną uwagę

poświęcono metodzie przeciągania, opisano rodzaje przeciągarek i ich parametry pracy. Dodatkowo opisano ciecze chłodząco-smarujące stosowane podczas przeciągania. Celem poszerzenia informacji na temat olejów stosowanych podczas przeciągania przeprowadzono badanie zawartości pierwiastków w laboratorium Tribologii na spektrometrze Spectroil Q100 od firmy Spectro Incorporated znajdującym się na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. Materiałem badawczym był olej Castrol Variocut B30. Na mocy analizy stwierdzono, niską zawartość metali śladowych, sugerując niewielkie zanieczyszczenia. Wyniki wskazały, iż w oleju znajduje się wapń oraz magnez. Ich zadaniem jest poprawa właściwości smarnych. Mogą również działać jako detergenty, usuwając zanieczyszczenia i osady, pomagając utrzymać czystość i efektywność smarowania. Dodatkowo w oleju wykryto fosfor i cynk. Pierwiastki te są dodatkami powszechnie stosowanym w olejach, ponieważ poprawiają one odporność na zużycie i korozję. Pierwiastki, których zawartość również się wyróżniała to chrom i molibden. Stosuje się je jako dodatki w olejach przeznaczonych do pracy w wysokich obciążeniach np. przeciąganie, aby poprawić ich właściwości antyutleniające i przeciwwzyciowe. Zapobiegają one również utlenianiu i zużyciu powierzchni metalowych.

W rozdziale trzecim szerzej opisano przeciąganie jako metodę obróbki rowków zamkowych i skupiono się na rodzajach przeciągania i elementach konstrukcyjnych przeciągaczy. Wyróżniono i opisano dwie klasyfikacje przeciągania do których zaliczamy przeciąganie ze względu na rodzaj cięcia i rodzaj przeciągania. Przedstawiony został również schemat podziału przeciągaczy oraz opisano funkcje elementów konstrukcyjnych przeciągaczy. Następnie dokładnie opisano metodykę projektowania przeciągaczy.

Na podstawie metodyki opisanej w rozdziale trzecim sporządzono obliczenia projektu wstępnego przeciągacza, które zostały przedstawione w rozdziale czwartym. Celem obliczenia narzędzia zdefiniowano parametry wyjściowe: szerokość rowka  $B = 22 \text{ Js9} = 22_{-0,026}^{+0,026}$ , szerokość ostrza i korpusu przeciągacza równa szerokości przeciąganego rowka, długość rowka  $L = 80 \text{ mm}$ , głębokość na jaką będzie przeciągany materiał  $Q = 5 \text{ mm}$ . Przeciągarka obsługująca narzędzie Lapointe HP75/72,  $F_{\text{MAX}} = 37,5 \text{ t} = 368625 \text{ N}$ . Materiał tarczy turbiny gazowej to stal żaroodporna kwasoodporna austenityczna H23N18, natomiast materiał narzędzia to stal szybko tnąca HS6-5-2-5.

Wszystkie obliczenia w projekcie zostały poprawnie wykonane. Sporządzono do nich rysunek wykonawczy wraz z odpowiadającym dla niego modelem 3D. Zaprojektowany przeciągacz posiada: długość całkowitą wynoszącą  $L = 976 \text{ mm}$ , wysokość do pierwszego ostrza wynosi  $H = 45 \text{ mm}$ , natomiast wysokość od ostatniego ostrza równa jest  $H = 50 \text{ mm}$ .

Długość uchwytu do pierwszego ostrza równa jest  $L' = 212$  mm, natomiast długość końcówki przeciągacza od ostatniego ostrza wynosi  $l_k = 50$  mm. Część robocza narzędzia, na której usytuowane są wszystkie ostrza wynosi  $l_{skr} = 714$  mm, są to optymalne wartości wynikające z obliczeń. W celu likwidacji wiórów powstałych w trakcie operacji na powierzchniach przyłożenia ostrzy od nr 1 do 51 wykonano łamacze wiórów. Usytuowane one są w styl szachownicy. Pierwszy łamacz występuje w odległości 8 mm od krawędzi ostrza, natomiast następny 9 mm od krawędzi sąsiedniego łamacza. Łamacze zostały zaprojektowane na długość 1 mm o promieniu  $R = 0,3$ , natomiast krawędzie są nachylone pod kątem  $90^\circ$ . Zachowując najwyższą jakość standardów projektowych narzędzie posiada chropowatość wynoszącą  $R_a = 5 \mu\text{m}$ . Powierzchnia przyłożenia ostrza ma chropowatość wynoszącą  $R_a = 0,63 \mu\text{m}$ . Promień  $R = 2,75$  posiada chropowatość wynoszącą  $R_a = 0,63 \mu\text{m}$ , natomiast promień  $R = 9,1$  ma chropowatość  $R_a = 1,25 \mu\text{m}$ . Na powierzchni przyłożenia ostrza chropowatość wnosi  $R_a = 0,63 \mu\text{m}$ , co wskazuje na bardzo gładką powierzchnię. Jest to istotne w przypadku osiągnięcia niskiego tarcia i wysokiej precyzji. Chropowatości wynoszące  $R_a = 1,25 \mu\text{m}$  i  $R_a = 0,63 \mu\text{m}$  utrzymują gładką powierzchnię i są optymalnymi wartościami dla zaprojektowanego narzędzia.

## **Podsumowanie**

Turbiny gazowe są ważnym elementem wielu systemów napędowych we współczesnym świecie. Charakteryzują się m.in.: niezawodnością, łatwością w obsłudze, zdolnością do szybkiego uruchamiania oraz generują dużą moc. Turbiny gazowe zasłynęły dzięki swoim zaletom takim jak: łatwy i szybki rozruch, wysoki stosunek mocy do masy oraz duża wydajność. Dzięki temu urządzenia te znajdują swoje zastosowanie w wielu dziedzinach gospodarki m.in. w przemyśle lotniczym, morskim i w elektrowniach, gdzie odgrywają istotną rolę w produkcji energii cieplnej. Inżynierowie dostrzegli potencjał tych urządzeń, dlatego stale je udoskonalają i rozwijają. Niestety pomimo licznych zalet turbina gazowa charakteryzuje się wysokim zużyciem paliwa, co przekłada się na zwiększone koszty eksploatacji. Dodatkowo proces produkcji turbin gazowych jest bardzo kosztowny i złożony. Materiały używane do stworzenia ich komponentów muszą być odporne na trudne warunki pracy turbiny tj.: wysoką temperaturę, ciśnienie, wysokie prędkości obrotowe oraz obciążenia wynikające z działania sił odśrodkowych. Dodatkowo gorący gaz z popiołem i domieszki znajdujące się w paliwie przyspieszają proces korozji, wpływający na zniszczenie materiału.

Współczesne metody produkcji tarcz turbin gazowych maksymalizują wydajności tych urządzeń. Wybór odpowiedniego materiału jest istotny dla trwałości i niezawodności

eksploatacyjnej tarcz turbin gazowych. Z uwagi na właściwości mechaniczne, stopy chromoniklowe i niklowe najczęściej wykorzystuje się do produkcji tarcz turbin gazowych. Rozwój metalurgii w tym zakresie wpływa na poprawę trwałości tych elementów.

Powierzchnie połączeń zamkowych są najbardziej obciążone podczas pracy z powodu umocowania w nich łopatek. Spośród stosowanych rodzajów połączeń na rynku, rowki zamkowe typu „jodła” są wyjątkowo wytrzymałe na wysokie obciążenia odśrodkowe. Efekt ten uzyskuje się równomiernie rozkładając obciążenie. Wybór technologii obróbki rowków zamkowych jest ściśle związany z wymaganiami projektowymi. Proces ten jest ważny, ponieważ bezpośrednio wpływa na ostateczną jakość rowków. Tarcze turbin gazowych wytwarza się z żaroodpornych, trudnoobrabialnych materiałów. Proces wytwarzania wymaga zastosowania specjalistycznych technologii obróbki do których zaliczamy: obróbkę mechaniczną, elektrochemiczną (ECM) oraz elektroerozyjną (EDM). Spośród wymienionych metod przeciąganie cechuje się wysoką wydajnością i precyzją w obróbce materiałów, w tym materiałów trudnoobrabialnych. Omawiana technologia znajduje zastosowanie w wytworzeniu rowków zamkowych, niezbędnych do właściwego funkcjonowania tarcz turbin gazowych. Kluczowym aspektem projektowania jest dobór odpowiedniej geometrii przeciągacza, wpływający na trwałość narzędzia i jego wydajność. Stal HS6-5-2-5 używana do produkcji przeciągaczy, charakteryzuje się dużą odpornością na pracę przy wysokich temperaturach. Ze względu na wysoką zawartość węgla, stal HS6-5-2-5 cechuje się dobrą wytrzymałością i twardością, co sprawia, że jest idealna do zastosowań wymagających ostrości i trwałości krawędzi tnących. Stal ta jest trwała i odporna na ścieranie, a to sprawia, że nadaje się do zastosowań w narzędziach skrawających pod dużym obciążeniem, do których zaliczamy przeciąganie. Po hartowaniu i odpuszczaniu w temperaturze 550 °C stal HS6-5-2-5 osiąga twardość 65 HRC. W kolejnych etapach pracy można skoncentrować się na szczegółowej analizie wytrzymałościowej przeciągacza, a także przeprowadzić symulację numeryczną celem optymalizacji procesu przeciągania i obniżenia zużycia narzędzia.