

The process of regeneration of the high-pressure turbine cylinder

Proces regeneracji korpusu turbiny wysokoprężnej

RYSZARD WOLNY*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.11.96>

The process of regeneration of the cylinder of a high-pressure turbine being a subassembly of a 360 MW power block was presented. Criteria that qualify the cylinder for regeneration were discussed. Machining operations with the description of machine tools and special devices were characterized. In order to ensure high quality requirements cutting parameters for selected operations were optimized.

KEYWORDS: turbine cylinder, machining operations, regeneration, optimization

Przedstawiono proces regeneracji korpusu turbiny wysokoprężnej będącej podzespołem bloku energetycznego o mocy 360 MW. Omówiono kryteria, które kwalifikują korpus do regeneracji. Scharakteryzowano operacje obróbkowe oraz obrabiarki i przyrządy specjalne. W celu zapewnienia wysokich wymagań jakościowych zoptymalizowano parametry skrawania dla wybranych operacji.

SŁOWA KLUCZOWE: korpus turbiny, operacje obróbkowe, regeneracja, optymalizacja

Wprowadzenie

Korpus turbiny wysokoprężnej składa się z dwóch części wykonanych metodą odlewania [1–4]. Materiałem korpusu jest staliwo stopowe do pracy w podwyższonej temperaturze L20M [5]. Ciężar górnej części korpusu wynosi 16 ton, natomiast ciężar części dolnej – 17 ton. Widok ogólny korpusu przedstawiono na rys. 1.

Podstawowym kryterium przy odbiorze korpusów wysokoprężnych jest szczelność. Brak szczelności oznacza spadek mocy turbiny. Ze względu na parametry pracy

turbiny, tj. ciśnienie pary świeżej 17,6 MPa i pary wtórnej 4,0 MPa oraz temperaturę pary przegrzanej 535°C, występuje wówczas potencjalne zagrożenie dla otoczenia.

Szczelność korpusu to przyleganie jego dwóch połówek. Szczelina pomiędzy luźno leżącymi na sobie częściami korpusu w dowolnym miejscu nie może przekraczać 0,03 mm. Niedopuszczalne jest występowanie śladów po obróbce skrawaniem oraz rys poprzecznych biegnących od wewnętrznej do zewnętrznej krawędzi płaszczyzny podziału. Wymagana jest wysoka płaskość płaszczyzny podziału, ślady przylegania stanowiące co najmniej 90% szerokości pasów styku połówek korpusu oraz chropowatość powierzchni $R_a \leq 0,63 \mu\text{m}$.

Korpus nie może mieć wad odlewniczych ani pęknięć. Poza płaszczyznę podziału dla zapewnienia szczelności wału wirnika istotna jest kołowość otworów pod korpusy dławic. Szczelność połączonych połówek korpusu sprawdza się podczas prób wodnych dla ciśnienia 7,7 MPa, przy temperaturze wody 20°C w czasie 20 godzin.

Harmonogram remontowy korpusów określa, że remont średni przeprowadza się po przepracowaniu przez turbinę 25 000 godzin, a remont kapitalny po 50 000 godzinach pracy [4]. Podczas eksploatacji kadłub ulega znacznym odkształceniom. Deformacja powierzchni w płaszczyźnie podziału dochodzi do 2 mm, a odchyłki kołowości otworów pod korpusy dławic wynoszą niekiedy 0,8 mm. Podstawowym zadaniem procesu technologicznego regeneracji korpusu wysokoprężnego jest przywrócenie pierwotnych parametrów dokładnościowych, tj. wymiarów mieszczących się w wymaganej tolerancji oraz określonej wartości odchyłek kształtu i położenia.

Regeneracja korpusu turbiny

W procesie regeneracji korpusu turbiny wysokoprężnej operacje wykonywano w następującej kolejności:

- obróbka powierzchni stanowiących płaszczyznę podziału kadłuba,
- obróbka wytoczeń pod dławice i pierścienie centrujące oraz powierzchni czołowych zewnętrznych,
- obróbka otworu pod termoparę w części górnej oraz otworów w części dolnej,
- obróbka pogłębień pod nakrętki kołpakowe w części górnej korpusu,
- obróbka rowków wpustowych w tylnych łapach kadłuba i den otworów w przednich łapach,
- legalizacja wyfrezowań pod zawieszenie kadłuba wewnętrznego w części dolnej,
- legalizacja powierzchni czołowych kołnierzy w obu częściach kadłuba,
- rozwieranie otworów pod kołki stożkowe,
- legalizacja prowadzeń wpustów kadłub–stojak,
- legalizacja powierzchni czołowych otworów pod wpusty mimośrodowe w dolnej części korpusu,
- legalizacja kołnierzy rurociągów pary w części dolnej korpusu.

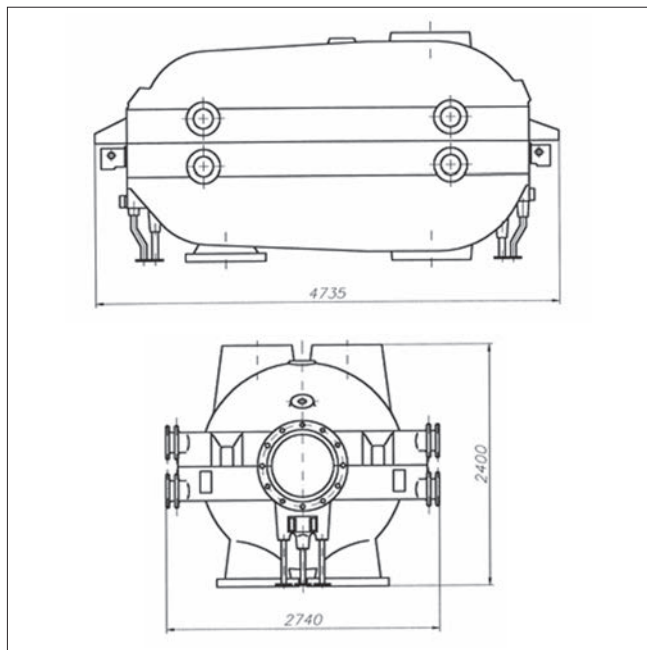


Fig. 1. Turbine body [6]

Rys. 1. Korpus turbiny [6]

* Dr inż. Ryszard Wolny, rwolny@itm.pcz.pl, <https://orcid.org/0000-0003-2013-7832> – Instytut Technologii Mechanicznych, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, Polska

Regenerację korpusu turbiny podzielono na sześć etapów:

- obróbkę płaszczyzny podziału części górnej,
- obróbkę płaszczyzny podziału części dolnej i obniżenie pod korpus wewnętrzny,
- dopasowanie płaszczyzn podziału,
- obróbkę wytoczeń pod dławice oraz otworów pod kołki stożkowe,
- obróbkę części górnej po obróceniu,
- obróbkę części dolnej po obróceniu.

Obróbka płaszczyzny podziału

Obróbkę mechaniczną płaszczyzny podziału (rys. 2) przeprowadzono na wiertarko-frezarce W200G firmy Skoda [7]. Według danych producenta gwarantowana dokładność geometryczna obrabiarki dla nowej maszyny to 0,26 mm. Pierwsze próby modelowe obróbki obu części korpusu pozwoliły na uzyskanie szczeliny w płaszczyźnie podziału wynoszącej 0,30 mm. Efektem kilkudziesięciu prób, trwających przez 11 miesięcy, była dokładność płaszczyzny podziału w przedziale $0,07 \div 0,09$ mm. Uzyskanie zadowalających wyników to rezultat wielu prób ustalania i zamocowania korpusu na stole obrabiarki oraz optymalizacji doboru narzędzi i parametrów skrawania do operacji zgrubnego i wykończeniowego frezowania [8–10]. Ostateczna dokładność dopasowania powierzchni w płaszczyźnie podziału kadłuba była wynikiem prawidłowo wykonanej ręcznej obróbki wykończeniowej [11, 12].

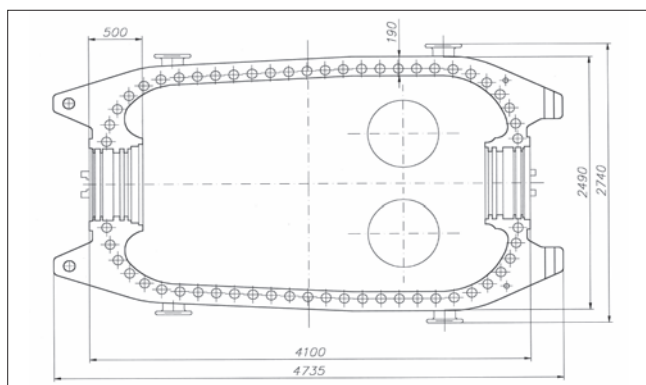


Fig. 2. Plane of the upper part of the turbine body [6]

Rys. 2. Płaszczyzna podziału górnej części korpusu turbiny [6]

Obróbka górnej części korpusu

Po wstępnym przeglądzie dostarczonej górnej połowy korpusu w celu stwierdzenia ewentualnych uszkodzeń, tj. pęknięcia, rozwarstwienia i wad odlewniczych, detale ustawia się na stole obrotowym wiertarko-frezarki. Precyzyjne ustalenie dokonuje się z użyciem podpór regulowanych poprzez siłowniki hydrauliczne ENERPAC [13]. Sprawdzenie ustawienia korpusu na stole obrotowym odbywa się za pomocą czujnika zegarowego o dokładności 0,01 mm, zamocowanego na wrzecionie obrabiarki. Pomiar płaskości płaszczyzny podziałowej oraz pomiary obniżenia den rowków pod wpusty i otworów w łapach korpusu stanowiły podstawę ustalenia przez inspektora nadzoru wielkości naddatku na obróbkę zgrubną. Wartość tego naddatku powinna być określona w stosunku do najwyższego punktu zmierzonego na płaszczyźnie podziałowej.

Frezowanie zgrubne płaszczyzny podziału korpusu przeprowadzono z użyciem dwuskrętnej głowicy kątownej (rys. 3) z zamontowaną głowicą frezarską $\varnothing 160$ TPAK16012 firmy Sandvik [14]. Kontrola grubości ze-

branej warstwy i sprawdzenie rzeczywistego obniżenia płaszczyzny podziału dały podstawę do określenia przez inspektora nadzoru wielkości naddatku na obróbkę wykończeniową.

Frezowanie wykończeniowe zrealizowano tymi samymi narzędziami, z parametrami skrawania zapewniającymi chropowatość płaszczyzny podziałowej $R_a \leq 0,8 \mu\text{m}$.

Wyzwaniem technologicznym była ręczna obróbka wykończeniowa płaszczyzny podziału poprzez docieranie do uzyskania chropowatości $R_a \leq 0,63 \mu\text{m}$ [11, 12]. Po całkowitym usunięciu śladów po obróbce mechanicznej należało odtuszczać powierzchnię docieraną od płyty wzorcowej. Na odtuszowanej powierzchni nie powinny występować rysy i obniżenia prostopadłe do krawędzi zarysu powierzchni podziałowej, stwarzające zagrożenie przelotu pary podczas pracy turbiny.

Aby właściwie przeprowadzić ręczną obróbkę wykończeniową, trzeba było zaprojektować i wykonać specjalne oprzyrządowanie. Ręczna obróbka wykończeniowa górnej połówki korpusu trwała 48 godzin i była wykonywana w sposób ciągły przez dwa zmieniające się zespoły, liczące po 10 pracowników.

Pozytywny wynik kontroli płaskości i chropowatości powierzchni podziałowej stanowił podstawę do zdjęcia obrobionej górnej części korpusu z wiertarko-frezarki i zabezpieczenia powierzchni podziałowej przed uszkodzeniem.

W przypadku dolnej połowy korpusu poszczególne operacje procesu technologicznego przebiegały w sposób analogiczny.



Fig. 3. Two-angle head with mounted sanding head $\varnothing 160$ by Sandvik during machining [6]

Rys. 3. Dwuskrętna głowica kątowa z zamontowaną głowicą frezarską $\varnothing 160$ firmy Sandvik w trakcie obróbki [6]

Po operacjach obróbkowych górnej i dolnej części korpusu przeprowadzono następujące czynności technologiczne:

- nałożenie części górnej korpusu na część dolną; w stanie nieskręconym nie powinno być pomiędzy nimi szczeliny $\geq 0,03$ mm,
- skręcenie co drugiej śruby dwustronnej w celu sprawdzenia przylegania płaszczyzn podziału (na tusz) zgodnie z warunkami odbioru,
- rozkręcenie śrub dwustronnych i zdjęcie górnej części korpusu w celu sprawdzenia przylegania i wprowadzenia ewentualnych korekt,
- uzyskanie od inspektora nadzoru zgody na dopuszczenie do dalszej obróbki.

Obróbka wytoczeń pod korpusy dławic

Ustawienie korpusu turbiny na stole obrotowym wiertarko-frezarki W200G oraz łożyskowanie wytaczadła (długości 5400 mm) do wytaczania otworów pod korpusy dławic i pierścienie centrujące przedstawiono na rys. 4.

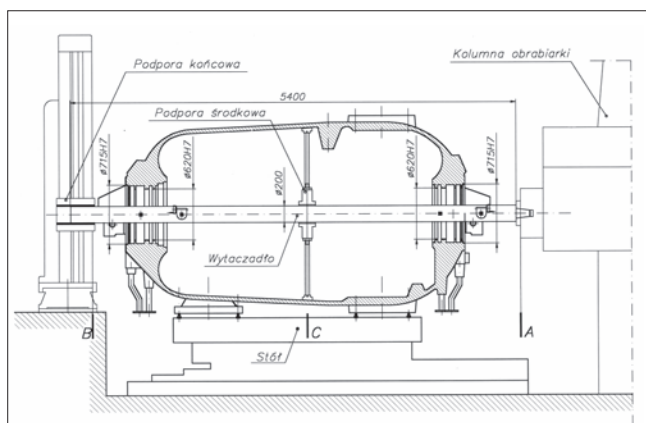


Fig. 4. Setting a boring bar for machining holes for stuffing boxes [6]

Rys. 4. Ustalenie wytaczadła do obróbki otworów pod korpusy dławic [6]

Współosiowość łożyskowania wytaczadła z dokładnością do 0,02 mm zapewnił laserowy przyrząd pomiarowy FIXTUR LASER T220 [15]. Głowicę układu pomiarowego wraz z nadajnikiem laserowym (rys. 5) zamontowano we wrzecionie wiertarko-frezarki za pomocą specjalnego uchwytu.

W podporze końcowej zamontowano odbiornik odczytowy w uchwycie z trzema podporami dopasowanymi do średnicy otworu tulei łożyskującej w stojaku obrabiarki. Poprzez obrót wrzecionem i korektę przesuwu w poszczególnych osiach można było uzyskać współosiowość z dokładnością 0,02 mm. Dla korekty ugięcia tak długiego wytaczadła dodatkowo zastosowano trójramienną podporę środkową posadowioną wewnątrz obrabianego korpusu.



Fig. 5. FIXTUR LASER T220 laser head with transmitter [6]
Rys. 5. Głowica laserowa FIXTUR LASER T220 z nadajnikiem [6]

Do wytaczania otworów pod korpusy dławic oraz pierścienie centrujące wykorzystano uniwersalną głowicę wytaczarską Vhu 125 firmy NAREX [16].

Głowica ma fabryczny zakres obróbki średnic $\varnothing 12\text{--}650$ mm, ale dzięki zastosowaniu specjalnej przystawki umożliwiała wytaczanie otworów pod pierścienie centrujące $\varnothing 715$ mm oraz planowanie kołnierzy na średnicę $\varnothing 800$ mm.

Do realizacji operacji wytaczarskich zastosowano noże wytaczarki DCLNR 3232P19 z płytą CNMG 190612 [14]. Optymalizowano parametry skrawania, aby spełnić następujące wymagania jakościowe obróbki:

- klasa dokładności otworów H7,
- bicie płaszczyzn czołowych $\leq 0,02$ mm,
- bicie promieniowe otworów $\leq 0,03$ mm,
- współosiowość wytoczeń pod dławice $\leq 0,04$ mm,
- chropowatość powierzchni $R_a \leq 1,6$ μm .

Po wykonaniu wszystkich operacji obróbkowych osiągnięto określone przez producenta parametry dokładnościowe dla nowego korpusu. Tym samym w wyniku regeneracji przywrócono jego pierwotne właściwości eksploatacyjne.

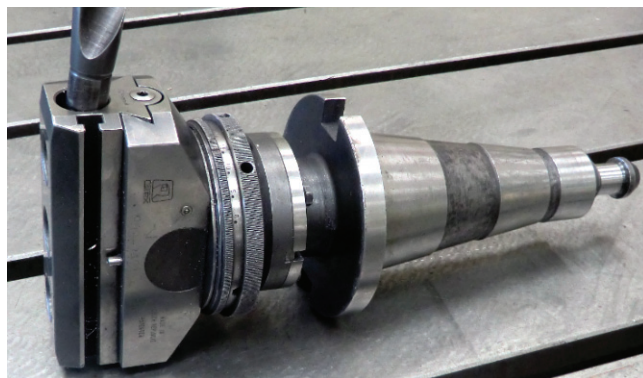


Fig. 6. Universal boring head Vhu 125 of the NAREX company with a boring knife mounted [6]

Rys. 6. Uniwersalna głowica wytaczarska Vhu 125 firmy NAREX z zamontowanym nożem wytaczarką [6]

Po przetransportowaniu korpusu turbiny wysokoprężnej w miejsce montażu w pierwszej kolejności ustawiano i mocowano do podłoża dolną część korpusu. Kolejnymi etapami było posadowienie wirnika turbiny we wnętrzu korpusu, montaż w miejscu podparcia korpusów dławic i osadzenie górnej części korpusu. Do poprawnego ustalenia obu części korpusu zastosowano dwa stożkowe kołki ustalające $\varnothing 48 \times 558$ mm. Wstępne skręcenie obu połówek korpusu wykonano za pomocą śrub dwustronnych M100 $\times$ 6 $\times$ 800 i nakrętek M100 $\times$ 6 ze stali stopowej w gatunku 21HMF w liczbie 60 sztuk. Ostateczne skręcenie obu części korpusu nastąpiło po podgrzaniu elementów mocujących w postaci śrub dwustronnych i nakrętek. Proces montażowy kończyło dołączenie termopary oraz aparatury kontrolno-pomiarowej.

Podsumowanie

Przedstawiony proces technologiczny dotyczył regeneracji korpusu zewnętrznego turbiny wysokoprężnej po przepracowaniu 50 tys. godzin w bloku energetycznym o mocy 360 MW w elektrowni węgla brunatnego. Scharakteryzowano podstawowe operacje obróbki mechanicznej oraz ręcznej obróbki wykończeniowej. Wszystkie prace wykonano na wydziale mechanicznym elektrowni. Dostępny park maszynowy, nowoczesne narzędzia oraz wykorzystanie przyrządów specjalnych dały podstawę do odtworzenia pierwotnych właściwości eksploatacyjnych korpusu.

LITERATURA

- [1] Szulc P. „Aktualne kierunki rozwoju energetyki”. Wrocław: Politechnika Wrocławska, 2012.
- [2] Chmielnik T. „Technologie energetyczne”. Warszawa: WNT, 2008.
- [3] Laudyn D. „Elektrownie”. WNT, Warszawa, 1995.
- [4] www.zre.com.pl (dostęp: 15.06.2019 r.).
- [5] PN-EN 10213: 2008 – Odlewy stalowe do pracy pod ciśnieniem, 2008.
- [6] Olczak D. „Regeneracja korpusu zewnętrznego turbiny wysokoprężnej”. Praca dyplomowa inżynierska. Instytut Technologii Mechanicznych, Politechnika Częstochowska, 2017.
- [7] www.skoda-machine-tool.czech-trade.pl (dostęp: 15.06.2019 r.).
- [8] Olczak W. „Obróbka skrawaniem”. Warszawa: WNT, 2008.
- [9] Przybylski L. „Strategia doboru warunków obróbki współczesnymi narzędziami. Toczenie, Wiercenie, Frezowanie”. Kraków: Politechnika Krakowska, 2000.
- [10] Rychlik K., Jastrzębski M., Pabich M. „Adaptacja współrzędnościowej obrabiarki na potrzeby zadaniowej obróbki korpusów turbin”. *Technologia i automatyzacja montażu*. 4 (2009): 31–34.
- [11] Barylski A. „Obróbka powierzchni płaskich na docierakach”. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2013.
- [12] Stahl A.W. „The technique of lapping”. Pie-terlen/Biel, 2013.
- [13] www.enaprac.com (dostęp: 15.06.2019 r.).
- [14] www.sandvik.coromant.com/pl (dostęp: 15.06.2019 r.).
- [15] www.fixturlaser.com (dostęp: 15.06.2019 r.).
- [16] www.narexmtc.cz (dostęp: 15.06.2019 r.).