

*zmiana parametrów magnetycznych, zmiana parametrów elektrycznych,
przenikalność magnetyczna, przewodność elektryczna właściwa,
badania nieniszczące, proces zmęczeniowy*

Zbigniew Hilary ŻUREK*
Dariusz BARON**

POMIAR ZMIAN WARTOŚCI PRZENIKALNOŚCI MAGNETYCZNEJ I PRZEWODNOŚCI ELEKTRYCZNEJ WŁAŚCIWEJ KOŁPAKÓW GENERATORÓW

W artykule przedstawiono rolę kołpaków wirników w pracy generatorów, łącznie z zagrożeniami wynikającymi z niewłaściwie prowadzonej eksploatacji. Podkreślono znaczenie okresowych kontroli stanu technicznego kołpaków metodami nieniszczącymi. Procesy eksploatacyjne kołpaków mają odniesienie w zmianie parametrów magnetycznych i elektrycznych stali austenitycznych, z których zostały wykonane. Wstępne badania laboratoryjne potwierdzają istotność tego zagadnienia. Diagnostyczne pomiary magnetyczne i elektryczne są alternatywą lub uzupełnieniem dla dotychczasowych badań ultradźwiękowych i penetracyjnych [1–9]. Wyniki badań przenikalności magnetycznej i przewodności elektrycznej próbek pozyskanych z kołpaków wyeksploatowanych, jak i z materiału fabrycznie nowego potwierdzają możliwość oceny wyeksploatowania kołpaków.

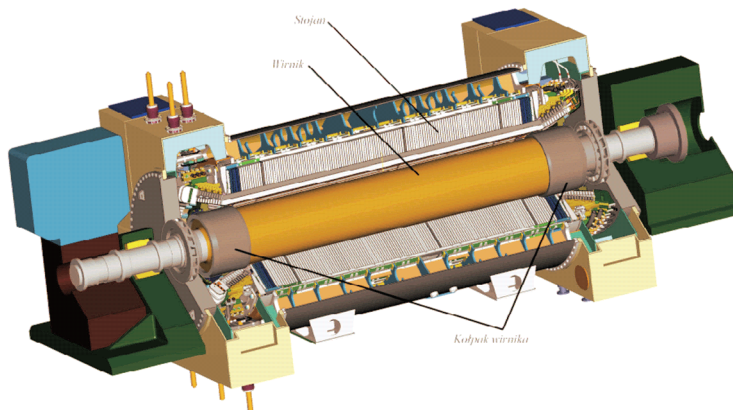
1. KOŁPAKI WIRNIKÓW GENERATORÓW – WPROWADZENIE

Kołpaki (rys. 1, 2) są elementami wirników generatorów służącymi do zabezpieczenia połączeń czołowych uzwojenia wzbudzenia przed skutkami oddziaływania sił odśrodkowych i elektrodynamicznych w czasie pracy [6–8]. Kołpaki wirników są najbardziej mechanicznie obciążonymi elementami generatora, narażonymi na rozrywanie. W czasie pracy muszą zrównoważyć siły odśrodkowe od ich masy własnej oraz od masy połączeń czołowych uzwojenia wirnika (rys. 3). Ponadto w kołpakach występują naprężenia wywołane skurczowym osadzeniem ich na beczce wirnika i pierścieniu centrującym. W zależności od konstrukcji osadzenia kołpaka na beczce

* Politechnika Śląska, Wydział Transportu, zbigniew.zurek@polsl.pl

** TurboCare Poland S.A., dariusz.baron@turbocare.pl

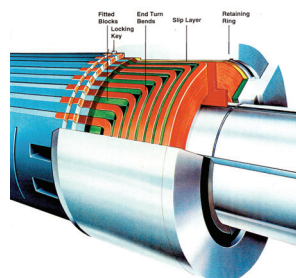
wirnika, w trakcie eksploatacji w kołpakach mogą występować naprężenia dodatkowe, jak np. naprężenia przemiennie-kierunkowe wynikające z ugięć wału.



Rys. 1. Widok turbogeneratora 500 MW z widocznymi kołpakami wirnika
Fig. 1. Example of 500 MW turbogenerator with visible rotor retaining rings



Rys. 2. Widok kołpaków na stanowisku do badań nieniszczących
Fig. 2. View of retaining rings at the non-destructive tests stand



Rys. 3. Widok elementów wirnika chronionych przez kołpaki
Fig. 3. View of rotor components protected by retaining rings

Te ekstremalnie wysokie naprężenia w połączeniu z innymi czynnikami (jak np. śladową obecnością wilgoci w generatorze czy też obecnością czynników agresywnych – np. jonów chlorkowych, jonów fosforanowych itp.) były przyczyną większości najpoważniejszych awarii generatorów, z nagłym rozerwaniem kołpaka włącznie. Awarii takich znacznie więcej odnotowano w energetyce amerykańskiej z uwagi na wyższą prędkość obrotową wirników (3600 obr/min) w stosunku do kołpaków europejskich (3000 obr/min). Pomimo ekstremalnych zakresów obciążeń przenikalność magnetyczna względna μ_r austenitu kołpaków nie powinna przekroczyć wartości 1,05. Możliwa niestabilność austenitu powodowana obciążeniami mechanicznymi może być

dotkowanym odniesieniem diagnostycznym w ocenie stanu kołpaków. Obecnie w ramach realizacji grantu prowadzone są badania w tym zakresie.

2. DIAGNOSTYKA KOŁPAKÓW

Celem zachowania niezawodności eksploatacyjnej i bezpieczeństwa pracy generatorów, kołpaki wirników należy poddawać okresowym kontrolom ich stanu technicznego metodami nieniszczącymi, mającymi na celu wykrycie wszelkiego rodzaju uszkodzeń i zmian w materiale.

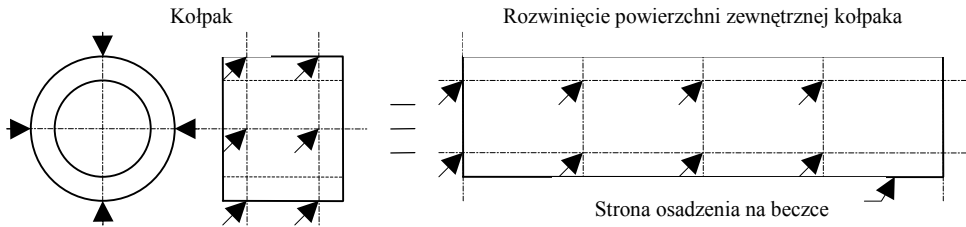
Prowadzone kontrole mają charakter powierzchniowy (kontrola wizualna, **badania penetracyjne**, badania metalograficzne, badania prądami wirowymi) lub charakter objętościowy (**badanie ultradźwiękowe**, pomiar tłumienia). Badania penetracyjne stosowane są do wykrycia pęknięć powierzchniowych, badania mikroskopowe – do określenia charakteru pęknięć, ultradźwiękowe – w celu wykrycia pęknięć wewnętrznych i ustalenia stopnia tłumienia, a badania prądami wirowymi – celem wykrycia pęknięć.

Większość stosowanych obecnie metod oceny stanu technicznego ogranicza się do wykrycia już istniejących uszkodzeń, pęknięć, nieciągłości i wad materiałowych. Jedyną skuteczną metodą badań kołpaków dającą pewien obraz o stanie struktury i stopniu zaawansowania procesu zmęczeniowego w materiale jest pomiar tłumienia fali ultradźwiękowej. Tłumienie materiału nowego kołpaka jest słabe – na poziomie zbliżonym do 0 dB/m, natomiast przyjęta w praktyce wartość graniczna świadcząca o wyeksploatowaniu wynosi 60 dB/m. Wyniki otrzymane z pomiarów kołpaków wyeksploatowanych potwierdziły degradację struktury badanego materiału powodowaną procesem zmęczeniowym. W tabeli 1 zamieszczono wyniki pomiaru tłumienia w punktach pomiarowych zlokalizowanych zgodnie z rys. 4.

Tabela 1. Zmierzone wartości tłumienia fali ultradźwiękowej
Table 1. Measured values of ultrasonic suppression

Kołpak	K1.1	K1.2	K2.1.	K2.2.	K3.1	K3.2	K4.1	K4.2
Średnia wartość tłumienia [dB/m]	61	41	73	66	84	80	38	50

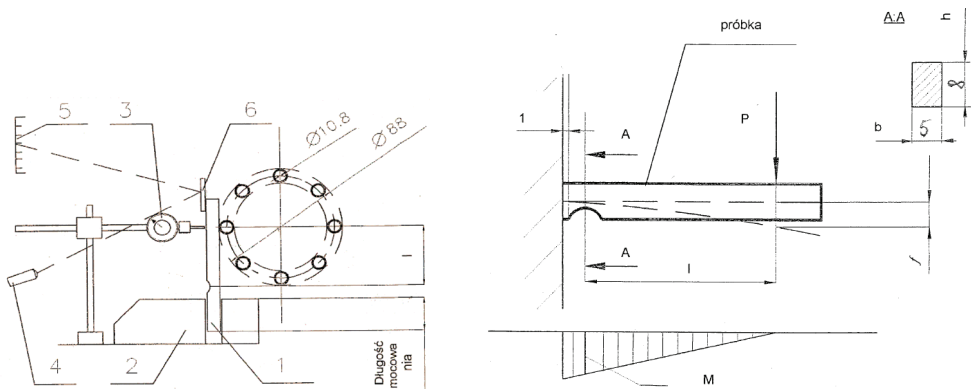
Coraz wyższe wymagania, stawiane nie tylko maszynom elektrycznym, wymuszają doskonalenie metod badań materiałów dających możliwość prowadzenia dla nich prognozy eksploatacyjnej. Prowadzone obecnie w ramach grantu badania mają na celu, w pierwszej kolejności, uchwycenie wzajemnych korelacji pomiędzy powodowanymi procesem zmęczeniowym zmianami wartości przenikalności magnetycznej i przewodności elektrycznej właściwej paramagnetycznej stali austenitycznej chromowo-manganowej G18H18 a wynikami pomiarów tłumienia fali ultradźwiękowej.



Rys. 4. Rozmieszczenie punktów pomiarowych przy pomiarze tłumienia fali ultradźwiękowej
 Fig. 4. Location of measuring points during ultrasonic suppression measurements

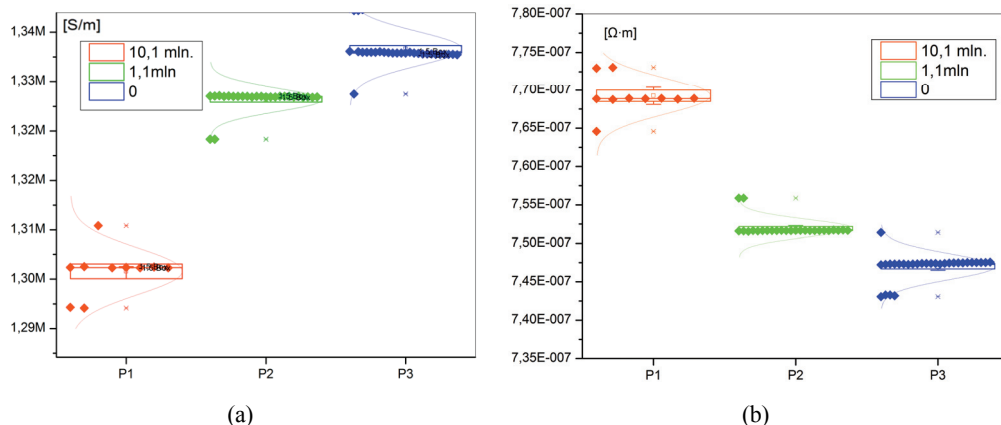
3. BADANIA ZMĘCZENIOWE MATERIAŁU

Próbki do badań wykonane z materiału odkuwki kołpaka, tj. paramagnetycznej stali austenicznej chromowo-manganowej G18H18, poddano procesowi zmęczenia materiału, tj. działaniu obciążeń zmiennych w czasie w urządzeniu obciążającym (rys. 5).



Rys. 5. Budowa mechanizmu obciążającego i wykres momentu gnącego
 Fig. 5. Construction of fatigue mechanism and bending moment diagram

W prowadzonych badaniach mamy do czynienia z określonym zakresem stabilności austenitu powiązaniem ze zmianą przenikalności magnetycznej i magnesowania. Wstępnie przeprowadzone pomiary zmian parametrów elektrycznych potwierdziły ich istotność dla badań. Na rysunku 6 pokazano zmiany konduktywności i rezystywności próbek po seriach obciążeń zmęczeniowych mechanicznych. Pomiary wykonano na długości próbek sondą liniową czteropunktową z komutacją prądu. Próbki obciążano momentem gnącym wywołującym naprężenia na poziomie maksymalnych naprężeń eksploatacyjnych (strzałka ugięcia 0,7 mm).



Rys. 6. Zmiany konduktywności (a) i rezystywności (b) próbek po seriach obciążeń zmęczeniowych
 Fig. 6. Changes of samples conductivity (a) and resistivity (b) after fatigue cycles

Wykazana kilkuprocentowa zmiana konduktywności/rezystywności materiału jest istotna dla oceny procesu jego wyeksploatowania. W przeszłości badania paramagnetycznych stali austenitycznych były ograniczone parametrami urządzeń pomiarowych. Obecnie, dzięki nowej generacji urządzeń umożliwiającym pomiar przenikalności magnetycznej z wysoką rozdzielczością (do 0,00001), możliwe jest przeprowadzenie specjalistycznych badań magnetycznych procesu wyeksploatowania.

Przedstawione zagadnienia mają charakter złożony. Uzyskane wyniki wstępne otwierają program badań. Do wyznaczenia zmian ilościowych konieczne są dalsze badania, m.in. w ramach realizacji grantu.

4. PODSUMOWANIE

Obecnie ocena przydatności kołpaków wirników generatorów do dalszej eksploatacji oparta jest na badaniach nieniszczących [6–8] (głównie penetracyjnych, ultradźwiękowych i gdy zachodzi potrzeba – metalograficznych). Metodą szczególną, zasadniczo różniącą się od pozostałych, jest badanie tłumienia fali ultradźwiękowej, które daje obraz o stanie struktury i stopniu zaawansowania procesu zmęczeniowego w materiale.

Rozwijane obecnie metody diagnostyki nieciągłości strukturalnych powodowanych procesami zmęczeniowymi różnią się w sposób zasadniczy od diagnostyki nieciągłości geometrycznych (tj. pęknięcia, pustki itp.). Metodami mogącymi służyć detekcji zmian strukturalnych są m.in. metody magnetyczne i elektryczne [4, 5], jednak ich zastosowanie do materiałów paramagnetycznych jest przedmiotem prowadzonych badań.

Wyniki wstępnych badań zmian wartości przenikalności magnetycznej i przewodności elektrycznej właściwej materiału kołpaków, powodowanych procesem

zmęczeniowym, potwierdzają istotność tego zagadnienia. Badania wymagają kontynuacji.

Pomiary magnetyczne i elektryczne są alternatywą dla badań pomiaru tłumienia fali ultradźwiękowej, dają pełniejszy obraz wyeksploatowania kołpaków i umożliwiają dokonanie oceny stopnia degradacji struktury materiału. W przyszłości metody te mogą stanowić cenne uzupełnienie dotychczasowych metod, jednak ich oceny będzie można dokonać po przeprowadzeniu szeregu pomiarów, badań i prób, prowadzonych m.in. w ramach realizacji grantu.

LITERATURA

- [1] ŻUREK Z.H., SIERADZKI S., ADAMEK J., *Ocena stanu technicznego kołpaków generatorów na podstawie pomiarów magnetycznych niestabilności austenitu dla stali G18H18*, XVII Konferencja Energetyki, 2011, s. 197–203.
- [2] ŻUREK Z.H., BIZOŃ K., SZUDYGA M., *Ocena stanu technicznego kap czoł uzwojeń wirników generatorów na podstawie pomiarów magnetycznych niestabilności austenitu stali G18H18*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, nr 92/2011, s. 51–54.
- [3] ŻUREK Z.H., CZĄSTKIEWICZ Z., SIERADZKI S., *Diagnostyka elementów ze stali austenitycznych w polu magnetycznym*, XVI Konferencja Energetyki, 2009, s. 75–80.
- [4] ŻUREK Z.H., CZĄSTKIEWICZ Z., *Diagnostyka magnetyczna stali paramagnetycznych*, PAK, vol. 55, nr 4/2009, s. 229–231.
- [5] ŻUREK Z.H., JANECZEK T., MACIEJEWSKI J., *Parametry magnetyczne stali jako kryterium diagnostyki zmęczeniowej*, PAK, vol. 54, nr 9/2008, s. 670–673.
- [6] DOBOSIEWICZ J., ADAMEK J., *Ocena stanu kołpaków wirników turbogeneratorów*, XIV Konferencja Energetyki, 2005, s. 39–46.
- [7] DOBOSIEWICZ J., *Ocena stanu kołpaków wirników generatorów*, Energetyka, 1990, nr 6, s. 202–205.
- [8] DOBOSIEWICZ J., RAUSZER A., *Uszkodzenia korozyjne kołpaków generatorów w turbozespolach parowych*, Energetyka, 1991, nr 8, s. 290–292 (14–16).
- [9] ŻUREK Z.H., KUKLA D., BARON D., *Materiałowe warunki brzegowe blach elektrotechnicznych krzemowych*, XLVIII SME, Książ 2012.

MEASUREMENT OF CHANGES OF MAGNETIC PERMEABILITY AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY VALUES IN GENERATOR ROTOR RETAINING RINGS

This article presents the role of rotor retaining rings in the generator operation, together with the danger resulting from incorrect activities. It emphasizes the importance of retaining rings technical condition periodic inspections using non-destructive methods. Operating processes of retaining rings are related to changes of magnetic and electric parameters of austenitic steels they were made from. Preliminary laboratory studies confirm the significance of these issues. Magnetic and electric diagnostic measurements are an alternative or supplement for the commonly used ultrasonic and penetrant tests [1–9]. Results of magnetic permeability and electrical conductivity measurements carried out on samples taken from both utilized and new retaining rings confirm the ability to evaluate the retaining rings wear.