

# DIAGNOSTYKA WIRNIKÓW Z WYKORZYSTANIEM METODY MAGNETYCZNEJ PAMIĘCI METALU

Opracował:

Główny specjalista ds. metalografii – dr inż. Jerzy Laska

## Streszczenie

Podczas eksploatacji turbin zdarzają się różne uszkodzenia tarcz i/lub wałów wirników spowodowane zarówno normalną eksploatacją jak i awariami, najczęściej spowodowanymi błędami obsługi. Pęknięcia tarcz (zwłaszcza w strefie wrębów łopatkowych lub otworów odciążających) oraz uszkodzenia spowodowane wypadnięciem łopatek lub zatarciem mogą być naprawiane w naszej firmie, co jest tematem odrębnego referatu. Wygięcia wałów można prostować metodą termiczną, również stosowaną w naszej firmie.

Przed przystąpieniem do naprawy wirnika oraz po zakończeniu remontu przeprowadza się szereg badań pozwalających z jednej strony określić zakres koniecznych prac (lub ekonomiczną celowość prowadzenia remontu) jak i ocenić ich jakość z drugiej. Jednym z nowo wprowadzonych w naszej firmie sposobów diagnozowania stanu wirnika po eksploatacji oraz oceny jakości wykonanych prac jest badanie stanu naprężeń własnych metodą magnetycznej pamięci metalu (MPM).

W referacie przedstawiono niektóre wyniki badań wirników tą metodą.

## 1. WPROWADZENIE

Na ogół uważa się, że procesy destrukcyjne (korozji, pełzania, zmęczenia czy doraźnego niszczenia materiałów) inicjują się najłatwiej i zachodzą najbardziej intensywnie w miejscach koncentracji naprężeń mechanicznych. Dlatego też jednym z warunków długiej i bezpiecznej eksploatacji poszczególnych elementów turbiny jest minimalizacja występujących w nich naprężeń własnych oraz ich równomierne rozłożenie (brak obszarów koncentracji naprężeń). Z remontowego punktu widzenia ważne jest to szczególnie gdy przeprowadzane zabiegi technologiczne są aktywowane cieplnie (spawanie, napawanie, obróbka cieplna) lub związane z odkształceniem materiału. Jedną z metod oceny naprężeń własnych jest metoda magnetycznej pamięci metalu (MPM).

MPM, opracowana przez prof. Dubowa [1], stosowana jest w diagnostyce materiałowej w Rosji od wielu lat. Jest to pasywna nieniszcząca magnetyczna metoda diagnostyki stanu naprężeniowo – odkształceniowego materiału oparta na rejestracji i analizie rozkładu własnych magnetycznych pól rozproszenia na powierzchni badanego obiektu. U podstaw metody leży zjawisko magneto-plastyki jako procesu formowania własnego pola magnetycznego materiałów ferromagnetycznych i zmiany jego parametrów, określanymi jako własne charakterystyki mechaniczne, przy pomocy oddziaływania pól zewnętrznych [2].

Metoda ta jest od niedawna uznana przez Międzynarodową Organizację Standaryzacji (ISO) jako wchodząca w skład badań nieniszczących. Norma ISO 24497- (1-3):2007 precyzuje warunki, ogólne wymagania zastosowań oraz kontroli połączeń spawanych urządzeń ciśnieniowych [3].

Można dodać, że MPM na razie w naszej firmie nie jest stosowana jako samodzielna (w pełni wystarczająca do diagnostyki). Stosowana jest jako pierwsza metoda diagnostyczna po demontażu urządzenia (**badania wstępne**) ponieważ nie wymaga na ogół przygotowania powierzchni do pomiarów (piaskowania, szlifowania itp.) i jest stosunkowo szybka. Ponadto ewentualne inne badania mogą zakłócić istniejące w metalu efekty magnetyczne („pamięć magnetyczną”) i wypaczyć uzyskane wyniki lub uniemożliwić sensowne opracowanie wyników. Metoda pozwala w pierwszej kolejności wyznaczyć strefy koncentracji naprężeń (SKN). Dalsza interpretacja uzyskiwanych wyników badań (możliwa po nabraniu odpowiedniego doświadczenia, wykorzystaniu specjalnych programów obliczeniowych albo zlecona bezpośrednio do zespołu prof. Dubowa) pozwala często oszacować głębokość nieciągłości a nawet przybliżony zapas żywotności elementu.

Ocena stanu naprężeń po remoncie - **badania końcowe (odbiorcze)** – pozwala ocenić jakość technologii i wykonania prac mogących wpływać na naprężenia własne wprowadzone lub pozostałe po ich zakończeniu.

## 2. BADANIA WSTĘPNE

Pierwszym etapem warunkującym przystąpienie do napraw spawalniczych wirników jest stwierdzenie technicznej możliwości i opłacalności takiej naprawy. Wstępne badania muszą stwierdzić zakres uszkodzeń oraz potwierdzić dobry stan materiału eksploatowanego, który pozostanie po naprawie (na którym odbudowywana będzie przez napawanie tarcza lub ubytek wału). W niektórych przypadkach uszkodzenia są tak znaczne, że badania ogranicza się do poszukiwania zakresu usuwania materiału zniszczonego przez tarcie (odkształconego i z cieplnymi zmianami mikrostruktury).

Badanie metodą MPM skraca czas diagnostyki przed naprawą ponieważ wyznacza obszary, które należy bardziej szczegółowo przebadać innymi metodami (magnetycznie – proszkowo i/lub penetracyjnie, ultradźwiękowo, strukturalnie). Poniżej przykłady wykorzystania tej metody.

◆ Wstępne badania MPM wirnika turbiny 300 MW, który spadł z suwnicy, wykazały, że wał tego wirnika nie uległ żadnym istotnym uszkodzeniom. Dalsze badania innymi metodami potwierdziły ten wynik i można było przystąpić do odtwarzania układu łopatkowego.

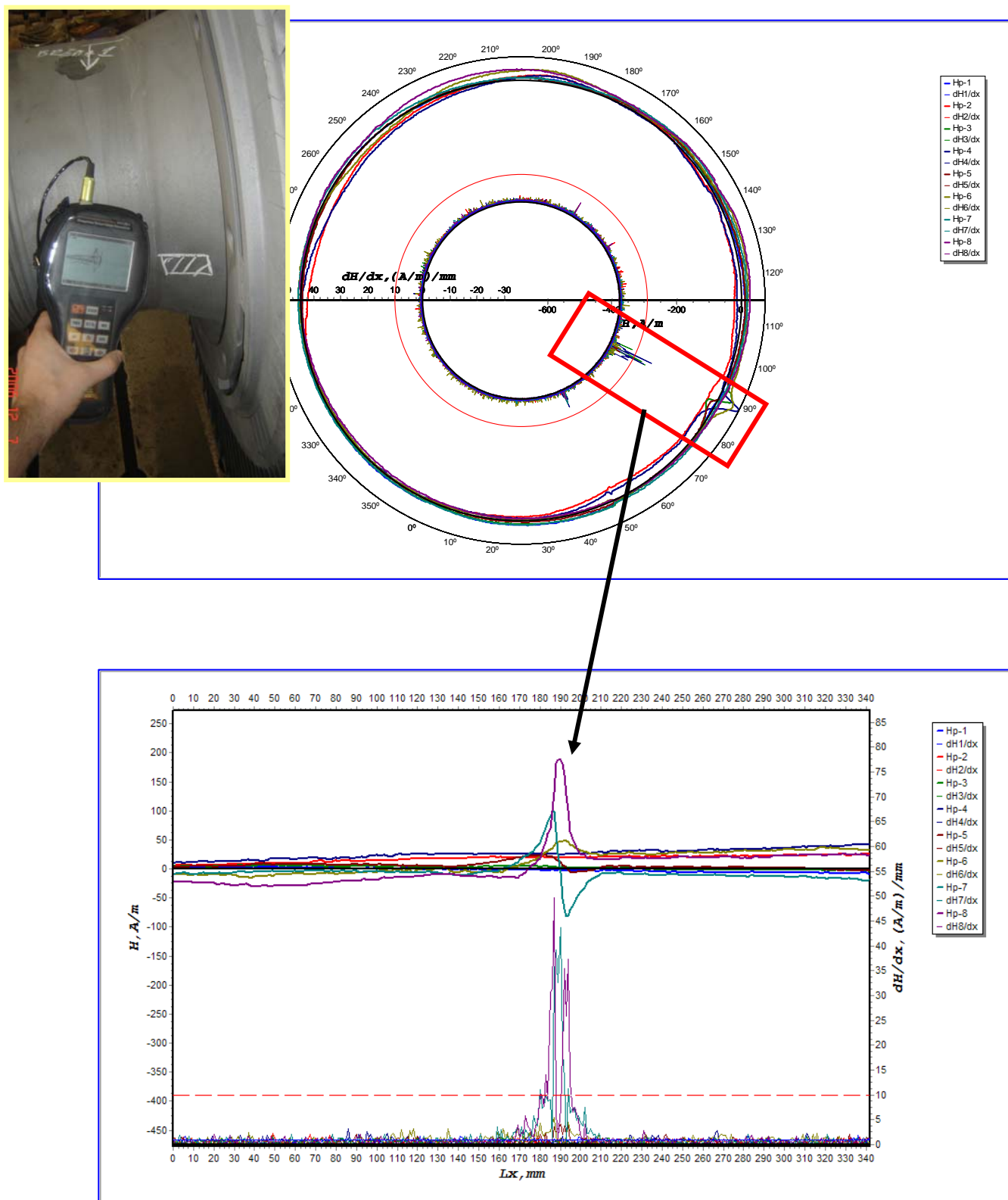
◆ Badania MPM wirnika turbiny prowadzone „przy okazji” naprawy korpusu wykazały istnienie SKN w dosyć nieoczekiwanym miejscu. Wynik tych badań został potwierdzony przez badania ultradźwiękowe i oceniony jako wada hutnicza, która nie rozwijała się podczas eksploatacji (jak się okazało stwierdzona była już podczas poprzedniego remontu) – fot. 1.

◆ Badania MPM tarczy wirnika, przeprowadzone bez demontażu łopatek) wykazały uszkodzenia wrębu łopatkowego. Badania ultradźwiękowe potwierdziły istnienie nieciągłości a po demontażu łopatek istniejące pęknięcia stwierdzono także metodą magnetyczną – proszkową w świetle UV. Uszkodzony obszar usunięto skrawaniem i odtworzono wręb łopatkowy przez napawanie.

◆ Badania MPM skrzywionego wału wirnika przeznaczonego do prostowania wykazały istnienie SKN w sąsiedztwie pierwszej tarczy. Badania ultradźwiękowe nie potwierdziły istnienia nieciągłości ale badania mikrostruktury metodą replik wykazały istnienie szeregu drobnych hutniczych niejednorodności struktury, które przez ponad 220 000 godzin pracy nie stały się początkiem nieciągłości i można je było uznać za bezpieczne w dalszej eksploatacji. fot.2.

◆ Wstępne badania MPM otworu centralnego skrzywionego wału turbiny wykazały występowanie w środkowej części wału znacznych SKN. Badania ultradźwiękowe wykazały istnienie nieciągłości materiałowych o znacznej głębokości (do 15 mm) na długości około 30 cm. Pełne badania materiałowe: (Rm i R<sub>0,2</sub>, A5, Z) w temperaturach otoczenia oraz 300° C oraz KCV, HB i mikrostruktura) pozwoliły na przeliczenie wału w stanie, który zostanie osiągnięty po lokalnym wytoczeniu otworu centralnego (tzw. „butelkowaniu”) do usunięcia wspomnianych nieciągłości.

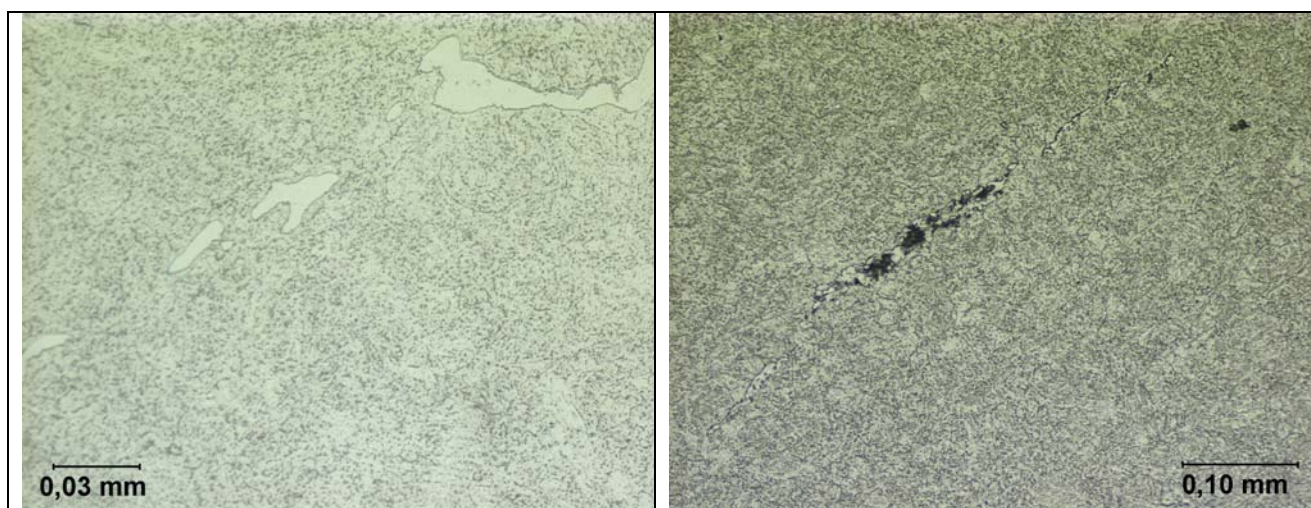
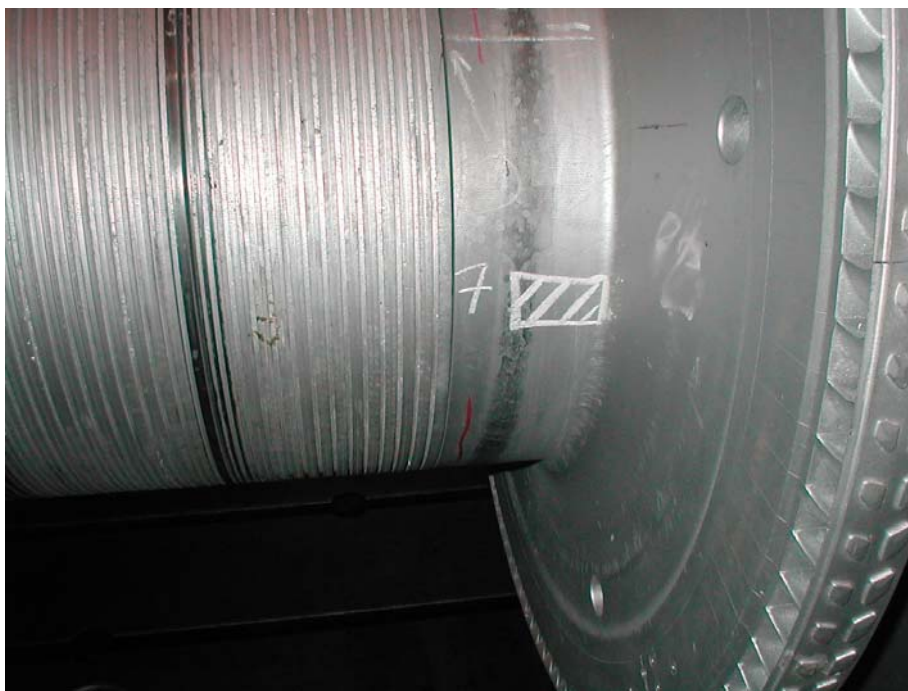
Całość badań pozwoliła na realizację zlecenia na prostowanie wału i usunięcie stwierdzonych nieciągłości.



Fot. 1. Magnetogram wału - strefa koncentracji naprężeń - biegunowe i liniowe rozwinięcie

Po usunięciu skrawaniem uszkodzonej części tarczy sprawdza się MPM rozkład naprężeń, który może wskazać istnienie nieciągłości albo stref koncentracji naprężeń. Gdy zanikną nieciągłości w ewentualnych strefach koncentracji naprężeń (sprawdza się wtedy dodatkowo metodą magnetyczno – proszkową lub penetracyjną) bada się mikrostrukturę materiału metodą replik. Jeśli mikrostruktura

fragmentu przeznaczonego do napawania jest podobna do mikrostruktury materiału rodzimego (nie stwierdza się efektów przegrzania zatarciem lub odkształcenia) można przystąpić do napawania.



Fot. 2. Zakreskowany obszar koncentracji naprężeń i nieciągłości mikrostruktury w tym obszarze

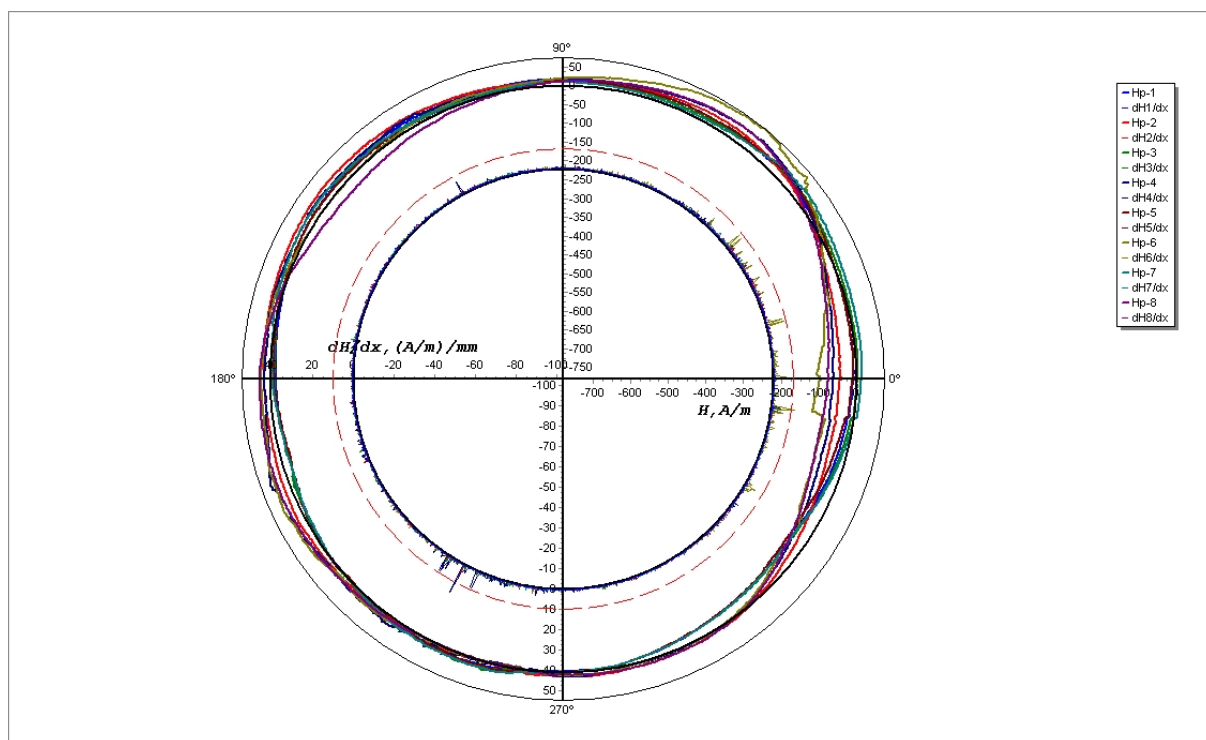
## 2. BADANIA KOŃCOWE

Oczywiste jest, że naprężenia własne sumują się z naprężeniami eksploatacyjnymi prowadząc do szybszego niszczenia detalu - zatem ich minimalizowanie oraz troska o równomierny rozkład przedłuży jego żywotność.

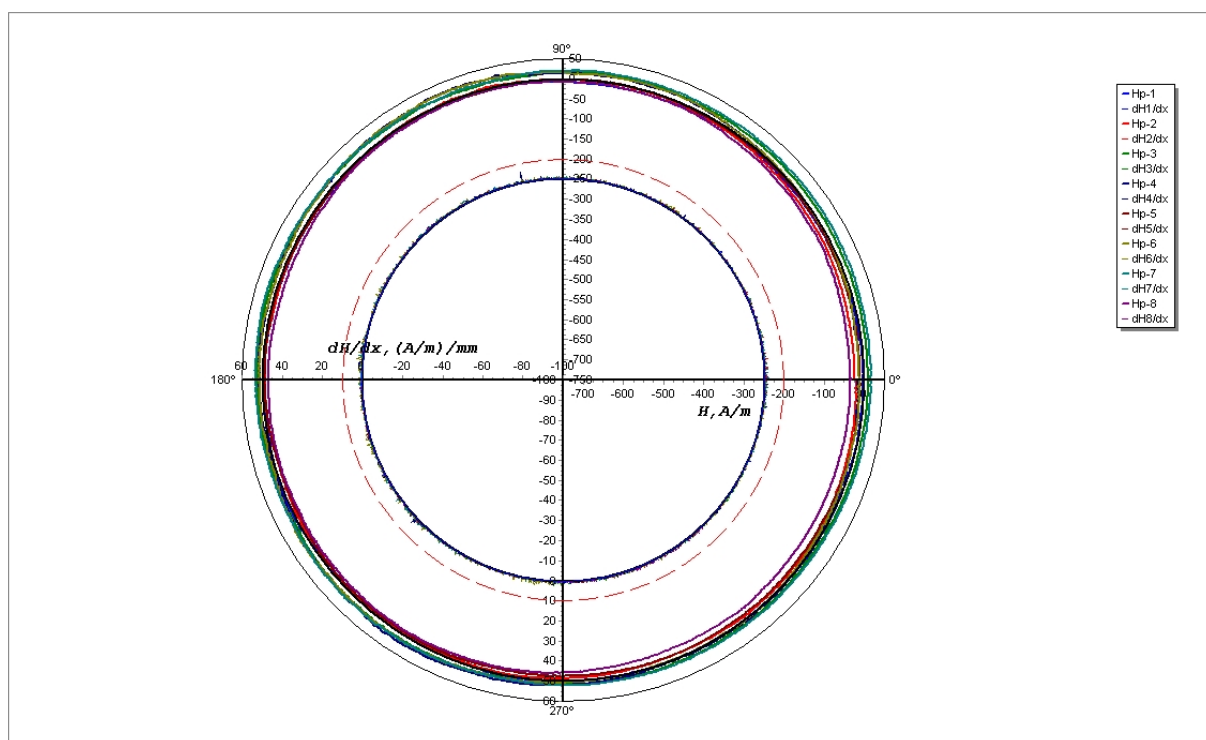
Badania kończące naprawę wirnika mają upewnić wykonawcę i zleceniodawcę, że przeprowadzone prace doprowadziły element do pełnej wartości eksploatacyjnej. Wymagania w tym zakresie stawiane są przez stosowaną technologię albo przez zleceniodawcę (czasem szczegółowo a czasem zupełnie ogólnie). Informacja o rozkładzie naprężeń własnych oraz poziomie tych naprężeń jest obecnie coraz częściej przydatna do oceny jakości naprawy.

♦ W przypadku prostowania wału spotkaliśmy się z obawą klienta, że wał wprawdzie będzie prosty ale znów mu się szybko pokrzywi i wymagał szeregu pomiarów twardości oraz badań mikrostruktury

(może miał w tym zakresie jakieś doświadczenia albo informacje?). Wymagania te oczywiście spełniono ale dodatkowo wykonane pomiary rozkładu naprężeń pomiędzy tarczami wirnika przyjęte został z wyraźnym zadowoleniem – fot. 3 i 4.



Fot. 3 Magnetogram pomiędzy tarczami 5-6 przed prostowaniem



Fot. 4. Magnetogram pomiędzy tarczami 5-6 po prostowaniu

Porównując wyniki pomiarów prowadzonych przed i po prostowaniu można stwierdzić, że niewielkie strefy koncentracji naprężeń stwierdzone przed prostowaniem wału wirnika uległy zmniejszeniu (zanikowi). Wskazuje to na korzystny wpływ obróbki cieplnej, związanej z zabiegami prostowania wału, na rozkład naprężeń

◆ Podczas obróbki cieplnej napawanego wirnika uległa uszkodzeniu jedna sekcja grzewcza. Badania MPM wykazały nierównomierny rozkład naprężeń a pomiary twardości w strefie „niedogrzonej” dawały wynik ok. 35 HB wyższy. Po powtórnej obróbce cieplnej twardość i rozkład naprężeń ujednorodniły się.

Z przytoczonych wyżej rozważań wynika, że ocena stanu naprężeń w wale wirnika będzie także dobrym wskaźnikiem jakości przeprowadzonych prac oraz przydatności wirnika do dalszej eksploatacji i dlatego ocenę tego stanu włącza się coraz częściej do programu prac.

### 3. METODYKA BADAŃ

Przedstawione powyżej oraz omówione pomiary rozkładu naprężeń własnych metodą MPM wykonywano przyrządami

- Miernik TSCM-2FM nr 2-195 z czujnikiem
- Przyrząd IKN-2M-8 z czujnikiem Typ No 2 (x-y)

opracowanymi i wyprodukowanymi przez firmę Energodiagnostika Co. (Rosja). Opierano się na założeniach i programach komputerowych opracowanych w tej firmie [1] a badania wykonano przy współdziałaniu pracownika firmy Energodiagnostyka Sp. z o.o. z Warszawy. Metoda ta pozwala poprzez pomiar wielkości i charakteru rozłożenia szczątkowego magnetyzmu z dużą dokładnością ustalić całkowite naprężenia mechaniczne występujące w dowolnym fragmencie konstrukcji a tym samym znaleźć miejsca, gdzie występuje ich koncentracja – czyli miejsca niebezpieczne z eksploatacyjnego punktu widzenia. Badania MPM wykonywano wewnątrz otworu centralnego, pomiędzy tarczami wirnika oraz na końcach wału, w obrębie uszczelnień i łożysk.

### 4. WNIOSKI

Opierając się na przedstawionych przykładach zastosowań metody magnetycznej pamięci metalu (MPM) oraz uzyskanych wynikach pomiarów stwierdzić można, że:

- Jest to szybka i względnie tania metoda wstępnej oceny stanu detali przed naprawą lub poprawności przeprowadzenia działań remontowych
- Metoda ta pozwala szybko wskazać miejsca koncentracji naprężeń, których przyczyną mogą być niejednorodności materiałowe, nieciągłości makro i mikrostruktury (w tym nieciągłości spowodowane eksploatacją) lub niedoskonałości obróbki cieplnej.
- Koncentracja naprężeń spowodowana odkształceniem (wygięciem) wału jest pomijalna z eksploatacyjnego punktu widzenia

W naszej praktyce metoda MPM stosowana jest jako pierwsza metoda diagnostyczna, dająca wskazówki do dalszych badań, oraz jedna z metod odbiorczych potwierdzających jakość przeprowadzonych prac. Należy traktować ją jako jedną z metod diagnostycznych przyspieszających proces badawczy i zmniejszającą ryzyko przeoczenia nieciągłości czy popełnienia błędu.

**Sumując powyższe i opierając się na własnych doświadczeniach, można uznać, że metoda magnetycznej pamięci metalu jest przydatna do wstępnej oceny elementów turbin przeznaczonych do remontu oraz do oceny jakości remontu. Wykorzystanie tej metody może znacznie przyspieszyć i ułatwić diagnostykę oraz być rzeczowym argumentem w zdobywaniu zleceń oraz prezentowaniu klientom wyników prac remontowych.**

#### **LITERATURA**

[1] – V.T. Vlasov, A.A. Dubov – Physical bases of the metal magnetic memory method – Moscow, 2004

[2] – Własow W.T., Dubow A.A. – Fizyczne podstawy metody magnetycznej pamięci metalu (podręcznik), Wyd. Energodiagnostyka, Warszawa 2008.

[3] – Metoda Magnetycznej Pamięci Metalu - Dozór Techniczny nr 1 (2008) str. 17.