

ANALIZA WYKRYWALNOŚCI WAD POŁĄCZEŃ SPAWANYCH METODAMI ULTRADŹWIĘKOWĄ I MPM

W artykule przedstawiono porównanie wyników uzyskanych podczas badania spoin wzdluznych i obwodowych komór spalania silników startowych metodą Magnetycznej Pamięci Metalu oraz ultradźwiękową.

1. Wstęp

Wszystkie typy rakiet przeciwlotniczych średniego zasięgu będące na wyposażeniu Wojska Polskiego przekroczyły okresy eksploatacji gwarantowane przez producenta. Od wielu lat w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia prowadzone są badania mające na celu zapewnienie bezpiecznej eksploatacji tych środków bojowych oraz określenie możliwości przedłużenia okresu ich eksploatacji poza okres gwarantowany przez producenta.

Badaniu podlegają materiały wysokoenergetyczne, pirotechniczne, podzespoły elektroniczne, mechaniczne oraz elementy konstrukcyjne. W związku z wysoką ceną badanych rakiet dochodzącą do kilkuset tysięcy złotych, dużą wagę przykładana się do stosowania nieniszczących metod badawczych. Jednym z elementów rakiet, które można badać tymi metodami są komory spalania silników startowych.

2. Badania nieniszczące

Badania nieniszczące są to metody kontroli, które bez uszkodzenia względnie zniszczenia wyrobu dostarczają informacji o stanie makrostruktury i mikrostruktury materiału, a więc o wadach materiałowych, grubości ścianek, zjawiskach na granicy dwóch ośrodków (przyleganie), jednorodności i własnościach użytkowych. W badaniach nieniszczących wykorzystuje się oddziaływanie pól fizycznych ze strukturą materiału. W wyniku tego oddziaływania powstają sygnały będące podstawą kontroli nieniszczącej.

Podczas badań elementów rakiet najczęściej korzysta się z metody wizualnej, endoskopowej, emisji akustycznej, ultradźwiękowej oraz magnetycznej pamięci metalu. Niniejszej pracy zostały porównane wyniki uzyskane podczas badań dwoma ostatnimi metodami.

3. Badania ultradźwiękowe

Badania ultradźwiękowe stosuje się do kontroli elementów, od których zależy bezpieczeństwo np. samolotu, statku i innych środków transportu. Zadaniem tej kontroli jest wczesne wykrycie wad powstających w czasie eksploatacji, głównie pęknięć i ubytków grubości spowodowanych np. przez korozję by można w porę wymienić lub naprawić uszkodzony element. Ultradźwiękowe badania materiałów prowadzi się w oparciu o procedury i technologie. Punktem wyjścia technologii badań ultradźwiękowych są wymagania stawiane wyrobom, które badamy odnośnie wad dopuszczalnych

i niedopuszczalnych. By określenie wadliwości badanego metodą ultradźwiękową elementu było jednoznaczne musi opierać się o plan badania, w którym opisano istotne elementy, a mianowicie:

- kształt i stan powierzchni w obszarze badanym;
- strefy, w których spodziewamy się występowania wad;
- obszary, gdzie stosujemy określone techniki badania;
- opis procedury badania przyjętym sposobem;
- kryteria oceny uzyskanych wyników.

Czułość metody badania określa się na ogół w oparciu o wady wzorcowe w postaci:

- nacięcie;
- otworów płaskodennych;
- otworów przelotowych.

Wykonuje się je na próbkach materiału, z którego wytwarzane są elementy badane.

Stan powierzchni, z której wprowadzamy fale ultradźwiękowe musi być taki, by umożliwić łatwe przemieszczanie głowicy po niej i nie powodować rozpraszania fal ultradźwiękowych wchodzących do materiału. Dlatego czasami konieczne jest przygotowanie obszaru, w którym prowadzimy badania ultradźwiękowe przez usunięcie nierówności w postaci odprysków spawalniczych, zgorzeliny, warstwy słabo przylegającej farby ochronnej. Wybór obszarów powierzchni, z której wprowadzamy fale ultradźwiękowe podyktowany jest względami najlepszej w danych warunkach badania wykrywalności wad. Uzyskuje się to wtedy, gdy fala ultradźwiękowa pada bezpośrednio do obszaru, w którym spodziewamy się występowania wad i dodatkowo spełniony jest warunek prostopadłości powierzchni wady i osi padającej wiązki fal ultradźwiękowych. Granice obszaru powierzchni, w ramach których przemieszczamy głowicę ultradźwiękową w celu wykrycia wad należy tak określić, by wiązka fal ultradźwiękowych penetrowała całą objętość badanego obszaru.

4. Metoda Magnetycznej Pamięci Metalu

Metoda Magnetycznej Pamięci Metalu (MPM) może być wykorzystywana jako szybka, przeglądowa metoda badania naprężeń i odkształceń materiału, pozwalająca na diagnostykę stalowych elementów maszyn i instalacji. Opiera się na znanym zjawisku rozproszenia strumienia magnetycznego w obszarach materiału o odmiennej przenikalności magnetycznej.

W procesie produkcji dowolnych ferromagnetycznych wyrobów, mechanizm pojawienia się realnej magnetycznej tekstury przebiega w warunkach jednoczesnego działania magnetycznego pola Ziemi i zmian naprężeń wewnętrznych. Podczas tego procesu oddzielne domeny w wyrobach z niejednorodną strukturą umiejscawiają się na defektach siatki krystalicznej.

Uszkodzenia eksploatacyjne dowolnej konstrukcji poprzedzone są zmianami własności metalu w wyniku procesów korozji, zmęczenia w strefach koncentracji naprężeń i deformacji. Wskazują na to pomiary zmian namagnesowania, ujawniające faktyczny stan naprężeń i deformacji konstrukcji.

MPM pozwala odróżnić obszar deformacji sprężystej od plastycznej, pozwala określić płaszczyzny poślizgu warstw metalu (źródła powstania pęknięć zmęczeniowych). Jeżeli pęknięcie już powstało, metoda pokazuje kierunek jego ewentualnego rozwoju, przy jej stosowaniu, badanych elementów nie magnesuje się w sposób sztuczny. Poprzestaje się na ich naturalnym namagnesowaniu w magnetycznym polu Ziemi. Sondy przemieszczające się po powierzchni badanego elementu rejestrują natężenie składowej prostopadłej rozproszonego pola magnetycznego H_r^y . Zmiany znaku i wartości H_r^y są wskazaniem, na podstawie których dokonywana jest ocena naprężenia i odkształcenia w materiale badanego elementu. Związek

między rejestrowanymi wskazaniami H_r^y i naprężeniem materiału opiera się na zależności między naprężeniem i własnościami magnetycznymi ferromagnetyków znanej jako zjawisko magnetosprężyste. Zarejestrowane wskazania H_r^y można wykorzystać zarówno do badania pól odkształceń i naprężeń, jak też do wykrywania nieciągłości i wad mikrostruktury.

Jeżeli w namagnesowanym jednorodnie elemencie wystąpią zakłócenia, np. w postaci:

- pęknięcia otwartego na powierzchni lub wewnątrz materiału;
- wtrąceń materiału o innych własnościach magnetycznych;
- lokalnej zmiany grubości, a ponadto:
- obszarów koncentracji naprężeń;
- odkształceń plastycznych;
- zmęczeniowych zmian struktury,

to na skutek zmiany przenikalności magnetycznej powstaną lokalne anomalie stopnia namagnesowania materiału, pozostającego w magnetycznym polu Ziemi.

Technika badania polega na przemieszczaniu po powierzchni badanego elementu sond pomiarowych, które rejestrują natężenie składowej prostopadłej magnetycznego pola rozproszenia.

Metoda ta nie wymaga specjalnego przygotowania powierzchni i należy do grupy tzw. czystych metod badań nieniszczących.

5. Przedmiot badania

Przedmiotem badań były komory spalania startowych silników raketowych na paliwo stałe.

6. Cel i zakres pracy

Celem pracy było wykrycie ewentualnych wad połączeń spawanych, głównie pochodzenia technologicznego, typu pęknięć, braku przetopu, pęcherzy, wtrąceń, wżerów itp.

Zakres badań komór spalania obejmował:

- ocenę wizualną jakości połączeń spawanych;
- badania ultradźwiękowe połączeń spawanych;
- badania metodą MPM połączeń spawanych.

Dodatkowym celem badawczym było porównanie wyników uzyskanych podczas badania spoin metodą MPM z wynikami badań ultradźwiękowych.

Badania ultradźwiękowe opierają się na zbiorach norm i procedur, mają doskonale opracowane wzorce wad, dzięki temu interpretacja wyników jest uproszczona i zapewnia duże prawdopodobieństwo ich poprawności.

Metoda MPM jest dopiero w fazie opracowywania procedur i wzorców wad. Porównanie wyników uzyskanych obiema metodami przyczyni się do zwiększenia poprawności interpretacji wyników uzyskiwanych metodą MPM.

Okresowo wykonywane są badania niszczące na małej próbce pobranej z populacji raket. Badania te służą weryfikacji stosowanych na całej populacji raket metod badań nieniszczących. Takie badania zostaną wykonane na pobranych próbkach także w tym przypadku.

7. Wyposażenie badawcze

Do wykonania badań ultradźwiękowych komór spalania wykorzystano:

- aparat ultradźwiękowy UNIPAN 510,
- głowice typu L, T,
- wzorce: W1, W2 oraz ze stali 30HGS z wadami sztucznymi,
- żel do ultrasonografii jako sprzężenie akustyczne.

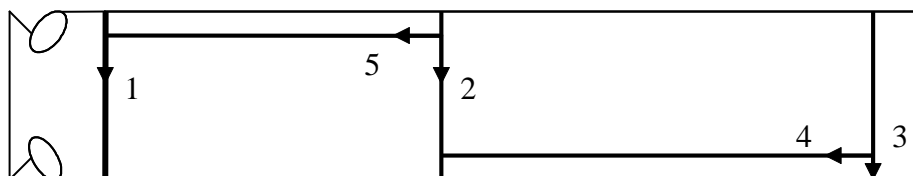
Do badań metodą MPM wykorzystano wskaźnik koncentracji naprężeń „IKN-1M”, współpracujący z czujnikiem skanującym Typu 1, posiadającym 3 przetworniki ferrytyczne do pomiaru H_p , wyprodukowany w przedsiębiorstwie „EnergoDiagnostika”, Rosja. Wskaźnik współpracuje ze specjalistycznym programem „MMP-System”, przeznaczonym do przetwarzania i analizy wyników pomiarów oraz tworzenia banku danych.

Parametry badania:

- ilość kanałów pomiarowych - 3
- zakres pomiaru wielkości H_p - ± 2000 A/m

8. Przebieg i wyniki badań

Badania przeprowadzono na czterech komorach spalania raket ziemia-powietrze typu 3M9ME, badając spoiny kolejno metodą MPM, a następnie ultradźwiękową przesuwając przyrządy pomiarowe w kolejności i kierunku przedstawionych na rysunku poniżej.

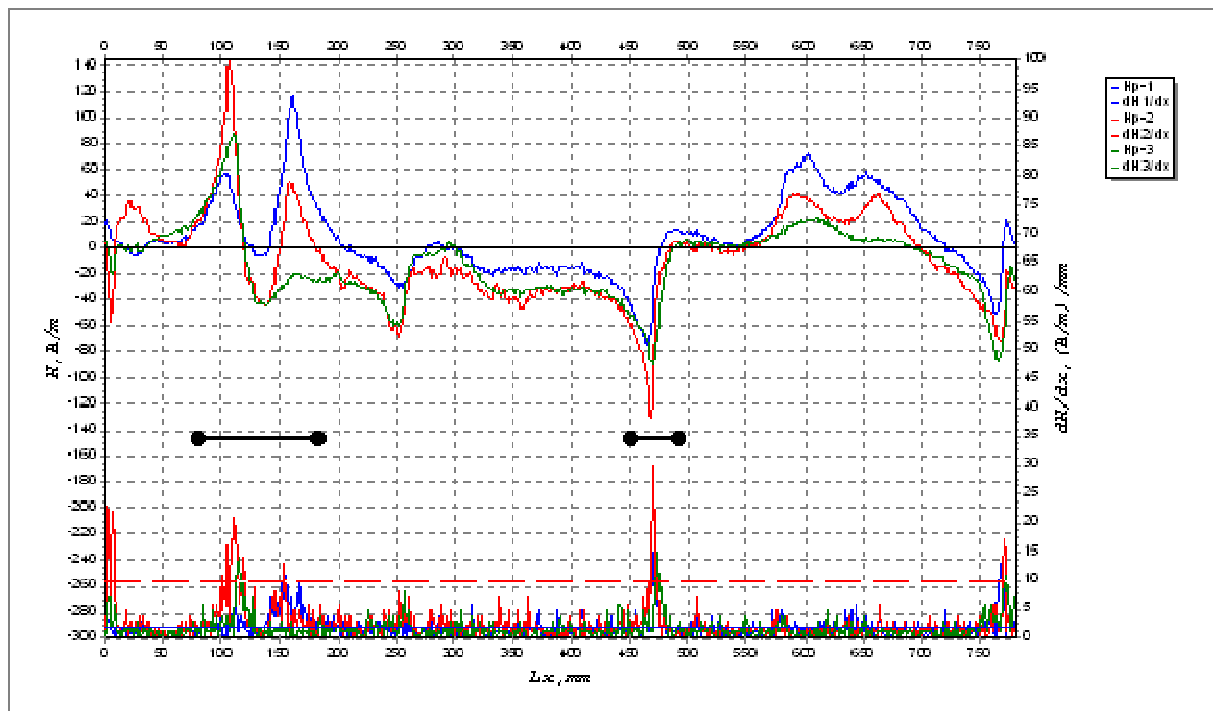


Rys.1. Schemat linii badawczych

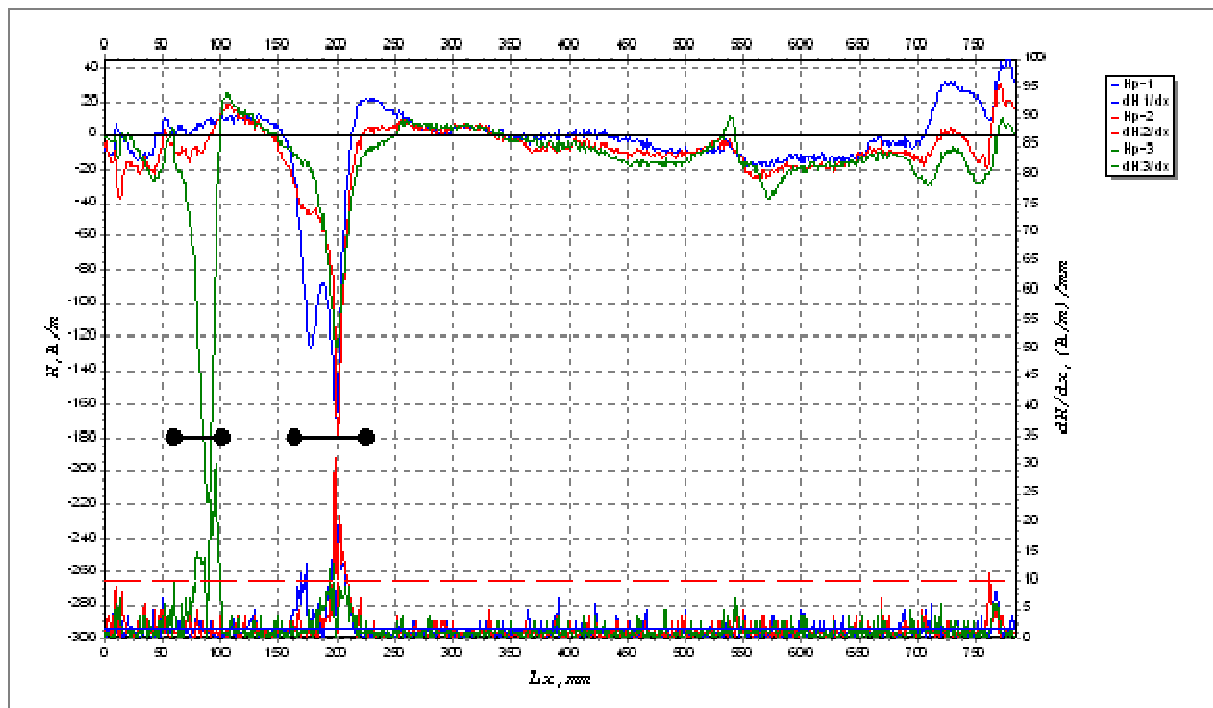
8.1. Badania metodą MPM

Badania przeprowadzono przesuwając element pomiarowy zgodnie z liniami przedstawionymi na Rys. 1

W wyniku badań w dwóch korpusach stwierdzono anomalie mogące wskazywać wady połączenia spawanego. Na poniższych rysunkach przedstawiono rozkłady natężeń pola magnetycznego oraz zaznaczono zarejestrowane obszary anomalii magnetycznych.



Rys.2. Rakieta 3M9ME, nr 5И 2147, spoina 5



Rys.3. Rakieta 3M9ME, nr 7A2191, spoina 4

8.2. Badania ultradźwiękowe spoin

Badania przeprowadzono głowicą 4T70-10C przesuając głowicę zgodnie z liniami przedstawionymi na Rys. 1

W poniższej tabeli przedstawiono wyniki badań spoin metodą ultradźwiękową.

Lp.	Oznaczenie	Spoina 1	Spoina 2	Spoina 3	Spoina 4	Spoina 5	Wynik
1	7A2191	A	A	A	A*	A	wnw
2	7A3235	A	A	A	A	A	wnw
3	5И2147	A	A	A	A	A*	wnw
4	5И3044	A	A	A	A	A	wnw

A - akceptacja spoiny;

A* - akceptacja spoiny pomimo stwierdzonej wady,

wnw - wad niedopuszczalnych nie wykryto.

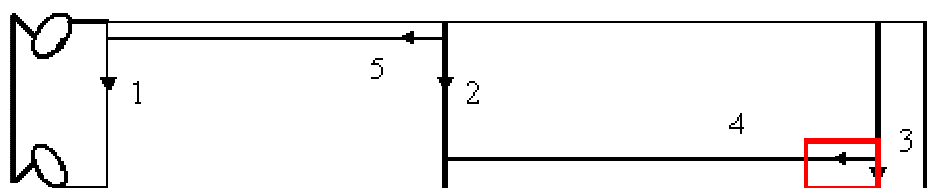
Miejsca występowania wad spoin wykrytych metodą ultradźwiękową pokrywają się z miejscami występowania anomalii magnetycznych stwierdzonych podczas badania metodą MPM.

Jako następny etap badań zaplanowano pobranie wycinków z miejsc, w których wykryto wady spoin, a następnie przekazanie ich na Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej i wykonanie badań w zakresie:

- identyfikacja składu chemicznego materiału komory;
- obróbki ciepłe i technologia wykonania;
- pomiary twardości materiału komory i spoiny;
- podstawowe charakterystyki wytrzymałościowe;
- badania metalograficzne, identyfikacja ewentualnych wad i ich wpływ na wytrzymałość komory.

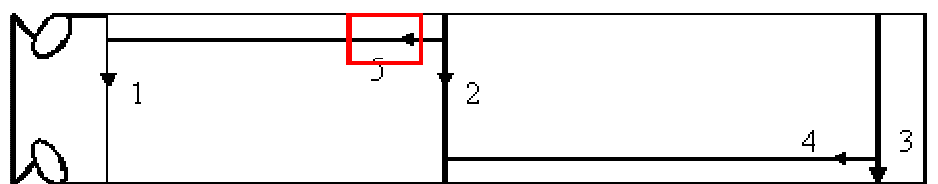
Ze względu na możliwość wystąpienia wad w spoinie wytypowano i pobrano następujące próbki:

- wycinek K3, rakieta nr 7A 2191;



Rys.4. Miejsce pobrania próbki K3 z silnika rakiety o nr 7A2191.

- wycinek K5, rakieta nr 5И 2147;



Rys.5. Miejsce pobrania próbki K5 z silnika rakiety o nr 5И 2147.

Jeżeli badania materiałowe potwierdzą w wytypowanych próbkach występowanie wad połączeń spawanych, obraz magnetyczny wady zostanie przypisany do konkretnej wady, nastąpi pozytywna weryfikacja wyników uzyskiwanych podczas badań metodą MPM oraz uzyskane wyniki zostaną wykorzystane podczas następnych badań metodami nieniszczącymi.

9. Wnioski końcowe

Miejsca występowania wad spoin wykrytych metodą ultradźwiękową pokrywają się z miejscami występowania anomalii magnetycznych stwierdzonych podczas badania metodą MPM.

Na drodze niszczących badań materiałowych należy zweryfikować uzyskane metodami nieniszczącymi wyniki.

Literatura

- [1] Dubov A.A. Diagnostyka wytrzymałości oprzyrządowania i konstrukcji z wykorzystaniem Magnetycznej Pamięci Metalu. Dozór Techniczny 2, 2002, 14 – 18 i Dozór Techniczny 1, 2002, 37-40
- [2] Deputat J. Podstawy metody magnetycznej pamięci metalu. Dozór Techniczny 5, 2002, 97-105
- [3] Morrish A.H. Fizyczne podstawy magnetyzmu; Warszawa 1970, PWN
- [4] Deputat J. Badania ultradźwiękowe, Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice 1979
- [5] Deputat J. Nowe Techniki Badań Ultradźwiękowych, IPPT PAN