

ZASTOSOWANIE BADAŃ ENDOSKOPOWYCH DO OCENY STANU TECHNICZNEGO RAKIET

Streszczenie: W artykule przedstawiono przykładowe wyniki badań endoskopowych dla różnego typu rakiet będących na wyposażeniu wojska. Do badań wykorzystano system wideoendoskopowy Everest XLG3, zapewniający uzyskanie obrazów o wysokiej rozdzielczości szczegółów wewnętrznych silników raketowych, konstrukcji nośnych, instalacji pneumatycznych i elektrycznych.

1. Wstęp

Badania endoskopowe (wizualne) mogą być prowadzone w procesie produkcji, przy odbiorze urządzenia i w czasie jego eksploatacji. Pozwalają na wykrycie w trudno dostępnych miejscach niedoskonałości wyrobów, a więc: wad kształtu, odstępstw wymiarowych, niewłaściwego montażu itp. oraz na wykrywanie nieciągłości powierzchniowych, powstających w procesie produkcji, takich jak: pęknięcia, pory, zakucia, zawalcowania, podtopienia, wtrącenia, przyklejenia itp. oraz uszkodzeń eksploatacyjnych takich jak: korozja, erozja, pęknięcia zmęczeniowe, nieszczelności itp.

2. Metoda badawcza

Badania endoskopowe mają na celu stwierdzenie, czy badany obiekt (element) spełnia wymagania zawarte w normach, przepisach dozoru technicznego, warunkach odbioru oraz kontraktach. W trakcie badań endoskopowych urządzeń i elementów poza obserwacją może odbywać się pomiar wielkości wad położonych prostopadle do obiektywu, wielkości wad położonych pod kątem do obiektywu, do pomiaru głębokości (wysokości) wad oraz pól powierzchni obserwowanych wad.

Stan powierzchni obiektu badanego, a więc rodzaj obróbki powierzchniowej, ślady korozji, zabrudzenia pokrycia, mają ogromny wpływ na własności optyczne materiału, a więc na przebieg badania, a często również na jego wyniki.

Właściwe przygotowanie powierzchni obiektu do badań polega na usunięciu zanieczyszczeń, smarów, produktów korozji itp. w taki sposób, aby nie została naruszona pierwotna postać tej powierzchni lub przynajmniej nie zostały zamaskowane (zakryte) takie wady powierzchniowe, które powinny być wykryte w czasie badań. Nie powinno się zatem stosować śrutowania, piaskowania ścierniwem o dużych średnicach ziaren, szlifowania gruboziarnistymi ściernicami, powoduje to bowiem zasklepienie takich wad jak np. pęknięcia. W badaniach eksploatacyjnych usuwanie produktów korozji powinno się odbywać przy użyciu strumienia wody lub poprzez szczotkowanie powierzchni obrotowymi szczotkami, szlifowanie drobnoziarnistymi ściernicami czy piaskowanie drobnoziarnistym ścierniwem, a wszędzie tam gdzie wystarczy jedynie usunięcie smarów i zanieczyszczeń z powierzchni powinno ono być przeprowadzone metodami chemicznymi (rozpuszczalnikami, odtłuszczaczami wchodzącymi w skład zestawów penetrujących itp.). Przy wyborze metody i

środków czyszczących należy uwzględnić ich wpływ na stan materiału np.: nie stosować szcetek stalowych do czyszczenia elementów ze stali austenitycznej lub rozpuszczalników zawierających chlorowce do ich odtłuszczenia.

Badania za pomocą endoskopu prowadzone są w różnych warunkach, często poza pomieszczeniami, na otwartym powietrzu. Wymagane jest, by odbywały się w atmosferze wolnej od kurzu, brudu i opadów atmosferycznych. Wyklucza się obecność gazów agresywnych – ujemnie wpływających na układy optyczne oraz palnych i wybuchowych.

Środowisko eksploatacyjne:

- Temperatura robocza systemu wynosi od -4° do 115°F (od -20° do 46°C). Poniżej 32°F (0°C) wyświetlacz ciekłokrystaliczny wymaga podgrzania.
- Temperatura robocza końcówki wynosi od -13° do 176°F (od -25° do 80°C). Poniżej 32°F (0°C) działanie przegubowe jest ograniczone.
- Temperatura przechowywania wynosi od -13° do 140°F (od -25° do 60°C).
- Wilgotność względna powinna wynosić maksimum 95%, bez kondensacji.

Przeprowadzenie badania należy rozpocząć od zainstalowania żądanej końcówki optycznej, a następnie wprowadzając sondę roboczą w badane miejsce tak ją delikatnie ustawić, aby uzyskać widok żądanego miejsca na ekranie wyświetlacza. W celu ułatwienia manewrowania sondą można stosować następujące akcesoria:

- Usztywniacze - długie cienkie rurki, które prowadzą sondę prosto, tak jak została wstawiona. Dostępne są usztywniacze o różnych długościach.
- Chwytnak - cylindryczny uchwyt, który przesuwany się po sondzie roboczej w celu ułatwienia sterowania. Chwytnaki są gwintowane i można je połączyć z usztywniaczami i sprzęgaczami.

3. Opis badań

W przypadku badań eksploatacyjnych rakiet poza okiem nieuzbrojonym, lupą, mikroskopem, lusterkiem bardzo często wykorzystuje się Wideosondę Everest XLG3 VideoProbe. Jest to zaawansowany, giętki, wzornik optyczny przeznaczony do zdalnej kontroli wizualnej.

Pracując poprzez otwory dostępne wideosonda XLG3 zapewnia obrazy o wysokiej rozdzielczości szczegółów wewnętrznych silników rakietowych, konstrukcji nośnych, instalacji pneumatycznych i elektrycznych itd.

Wiązka światłowodów sondy oświetla badane miejsce światłem wytwarzanym przez łukową lampę wyładowczą dużej intensywności (HID) o mocy 75W umieszczoną w jednostce bazowej. Zespół miniaturowej kamery, umieszczonej na końcu sondy, przekształca obraz na sygnał elektroniczny i przesyła go z powrotem przez sondę. Wideosonda wyświetla obraz na ekranie rękojeści. Nastawianie ostrości nie jest potrzebne, ponieważ wideosonda XLG3 zawiera system optyczny o stałej ogniskowej z wystarczająco dużą głębokością ostrości. Wideosonda jest wyposażona w opcję pomiaru, aby można mierzyć defekty i inne wielkości. System XLG3 jest kompatybilny z różnymi wymiennymi nośnikami danych: DVD, kartami PC, kartami pamięci typu „memory stick”, napędami przenośnymi – wszelkimi urządzeniami kompatybilnymi z USB lub PCMCIA. Dzięki wymiennym sondom QuickChange można szybko przekonfigurować system w celu uzyskania maksymalnej wydajności.

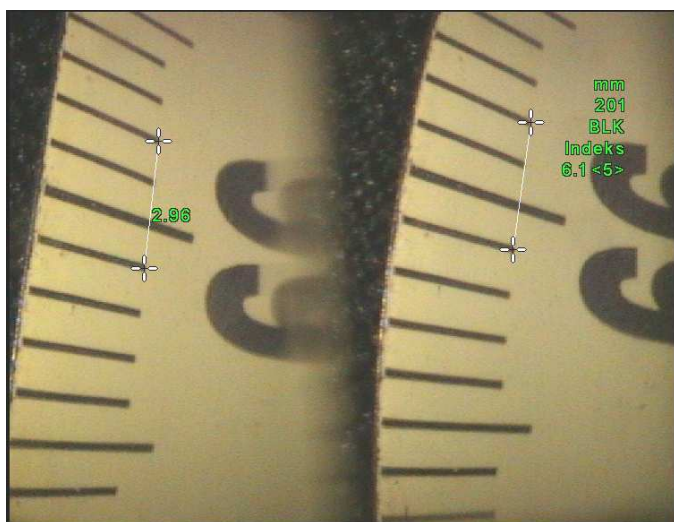


Rys. 1. System wideoendoskopowy XLG3 podczas badania silnika raketowego.

W skład systemu XLG3 wchodzi:

- a) Jednostka Centralna - stanowi centrum komunikacyjne systemu XLG3. Przetwarza zdjęcia i nagrania wideo, zarządza danymi oraz łączy system ze światem zewnętrznym (przez przedni panel). W jednostce centralnej znajduje się procesor (CPU), pamięć systemu, zasilacz, łukowa lampa wyładowcza dużej intensywności (HID) o mocy 75W oraz zintegrowana szpula, która może przechowywać nawet najdłuższe sondy robocze;
- b) Sonda wymienna o średnicy 6,1 mm i długości 3m będąca elastycznym okiem systemu;
- c) Sonda wymienna o średnicy 3,9 mm i długości 3m.

System XLG3 umożliwia pomiary metodą stereo. Wymagają one użycia końcówek pomiarowych StereoProbe, które łapią stereoskopowe obrazy celu – dwa zdjęcia tego samego celu pod dwoma różnymi kątami. Aby zmierzyć cel, procesor XLG3 wykorzystuje triangulację opartą na tych dwóch obrazach znajdujących się obok siebie. Pomiary metodą stereo można wykonywać na obrazie zamrożonym lub na obrazie przywołanym, który był zapisany w trybie pomiarowym.



Rys. 2. Przykład pomiaru 3 mm na miarce dla wysokiego indeksu i pewności dopasowania równej 5.

Dla każdego kursora, który umieszczamy na lewym obrazie podczas pomiaru metodą stereo, system umieszcza pasujący kursor na prawym obrazie do użytku podczas triangulacji. Każdy lewy kursor należy umieszczać w takim punkcie obrazu (piksela), który ma wystarczające szczegóły otoczenia, aby odróżnić go od jego sąsiednich pikseli. Jeżeli sąsiednie piksele wyglądają tak samo jak wybrany punkt – zwłaszcza piksele z lewej i prawej strony punktu, na przykład piksele wzdłuż gładkiej poziomej linii – to system nie może dokładnie umieścić pasującego kursora. Kiedy jest wystarczająco dużo wyróżniających szczegółów, „wielkość dopasowania” jest duża (co oznacza, że utworzony dopasowany punkt wyraźnie lepiej pasuje niż jego sąsiednie piksele – pewność systemu, co do dopasowania jest wysoka).



Rys. 3. Przykładowy pomiar szerokości wypalanej okładziny termicznej w silniku rakiety dla niskiego indeksu i niskiej pewności dopasowania wynoszącej 2.

Ale jeżeli nie ma wystarczającej ilości szczegółów, wielkość dopasowania jest mała (co oznacza, że utworzony punkt i jego sąsiednie piksele pasują prawie jednakowo dobrze – dopasowanie może być prawidłowe, ale pewność systemu odnośnie dopasowania jest niska). Dla każdego pasującego kursora system oblicza wartość wielkości dopasowania, od <0>

(najniższa pewność) do <5> (najwyższa pewność). Jeżeli jest za mało szczegółów, system po prostu nie tworzy pasującego kursora. Ilekroć to możliwe, należy dążyć do uzyskania wielkości dopasowania co najmniej <3>. Jeżeli się nie da, należy próbować uchwycić inny obraz z mniej olśniewającym blaskiem lub z większą ilością szczegółów obrazu.



Rys. 4. Pomiar ogniska korozji wewnątrz raketowego zbiornika powietrza na ciśnieniu 275 atm.

Nawet wtedy, gdy wielkość dopasowania wynosi <5>, a zwłaszcza wtedy, gdy wielkość dopasowania jest niższa, trzeba sprawdzić, czy pasujący kursor pojawił się we właściwym miejscu. Pasujący kursor, który jest przesunięty nawet o jeden piksel, może mieć znaczący wpływ na dokładność pomiaru. Najbardziej prawdopodobna sytuacja, kiedy pasujące kursory są niewłaściwie umieszczone,

występuje wtedy, gdy miejsce pomiaru zawiera powtarzający się wzór. Ogólnie rzecz biorąc, najlepsze wyniki uzyskuje się wtedy, gdy zostawi się pasujące kursory dokładnie tam, gdzie system je umieścił.



Rys. 5. Pomiar szerokości spawu wewnętrznego raketowego zbiornika powietrza na ciśnieniu 275 atm.

Pomiary metodą cienia wymagają zastosowania końcówek pomiarowych ShadowProbe, które rzucają cień na cel. W celu pomiaru cienia procesor XLG3 wykorzystuje triangulację opartą na umiejscowieniu cienia. Pomiary metodą cienia można wykonać na obrazie zamrożonym lub na obrazie przywołanym, który został zapisany w trybie pomiarowym. W celu uzyskania maksymalnej dokładności w dowolnym pomiarze metodą cienia należy zacząć od starannego ustawienia końcówki cieniowej.

Pomiary porównawcze opierają się na znanych wymiarach przedmiotu, który został ustawiony w polu widzenia, albo przez producenta, albo przez sondę. Procesor XLG3 wykorzystuje te znane wymiary jako skalę odniesienia dla pomiaru nieznanego celu. Pomiary porównawcze można zdejmować na obrazie zamrożonym lub na obrazie przywołanym, który został zapisany w trybie pomiarowym.



Rys. 6. Przykładowe obrazy z badań endoskopowych. Widok korozji wewnątrz pompy silnika rakietowego i nierównomierność spawów zbiorników wysokociśnieniowych.

4. Wnioski

Badania endoskopowe są podstawą wstępnej oceny konstrukcji węzła lub technologii wykonania. Jednak pełna ocena jakości wymaga stosowania innych metod badań nieniszczących, głównie metody radiograficznej, ultradźwiękowej czy magnetycznej. We wszystkich tych badaniach obowiązuje jednak wymóg przeprowadzenia badań wizualnych przed przystąpieniem do badań daną metodą. Wynika to zarówno z przesłanek ekonomicznych, badania wizualne są bowiem mało kosztowne i mogą być prowadzone w każdym momencie procesu technologicznego, ale również z przesłanek technicznych, związanych z późniejszą kwalifikacją wad. Szczególnie jest to odczuwalne przy ocenie

radiogramów, gdzie brak danych dotyczących wstępnych wad zewnętrznych może doprowadzić do zupełnie błędnej oceny lub opóźnia tę ocenę do chwili przeprowadzenia dodatkowych badań wizualnych. Największy obszar zastosowań badań endoskopowych występuje jednak w badaniach eksploatacyjnych, które zwykle koncentrują się na wybranych elementach czy węzłach lub na obszarach szczególnie narażonych na działanie obciążeń czy też czynników korozyjnych, erozyjnych, szoków termicznych itp. Dlatego też w badaniach eksploatacyjnych do oceny stanu technicznego rakiet bardzo pomocnym urządzeniem jest endoskop z uwagi na utrudniony dostęp do wewnętrznych części poszczególnych podzespołów i możliwość rejestracji wyników.

Literatura

1. Jędrzej Hlebowicz „Badania wizualne – zasady ogólne i przykłady zastosowań”, Biuro Gamma Warszawa 1997;
2. Jędrzej Hlebowicz, Christof Kalla „Badania wizualne cz. 2 – wyposażenie do badań”, Biuro Gamma Warszawa 1998;
3. „Wideosonda Everest XLG3™ VideoProbe. Instrukcja obsługi”, General Electric Company, 2006.

APPLICATION OF ENDOSCOPE TESTS TO EVALUATE TECHNICAL STATUS OF ROCKETS

Some results of endoscopic tests carried out for different types of rockets used by the armed forces are presented in the paper. The video-endoscopic system Everest XLG3 was used. The system provides high resolution pictures of internal details of rocket motors, frame, and also pneumatic and electric systems.