

Mirosław Karczewski
Krzysztof Koliński
Jerzy Walentynowicz
Wojskowa Akademia Techniczna

WYKORZYSTANIE SKANERA 3D DO ANALIZY USZKODZEŃ SILNIKÓW SPALINOWYCH

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono metodykę analizy uszkodzeń tłokowych silników spalinowych za pomocą skanera 3D umożliwiającego trójwymiarową analizę obiektów przestrzennych. Przedstawiono zasadę działania urządzenia oraz jego możliwości badawcze. Przeanalizowano możliwości metody na przykładzie uszkodzeń eksploatacyjnych tłoków silnika o ZS zasilanego paliwem lekkim. Oceniono dokładność pomiarów uszkodzeń tłoków silnika.

Słowa kluczowe:

silniki, skanowanie 3D, uszkodzenia tłoków.

WSTĘP

Postępujący rozwój elektroniki i metod numerycznych umożliwia coraz dokładniejszą analizę procesów fizycznych oraz zmian strukturalnych obiektów w przestrzeni trójwymiarowej i w czasie rzeczywistym. Problemem jest weryfikacja eksperymentalna takiej symulacji bądź przygotowanie danych do obliczeń przy wykorzystaniu obiektów rzeczywistych. Wymaga to przetworzenia wymiarów i kształtów obiektów rzeczywistych na trójwymiarowy obraz przestrzenny. Takie możliwości mają urządzenia do przestrzennego skanowania obiektów i analizy ich kształtów w trójwymiarowej przestrzeni. Wykorzystując trójwymiarowy obraz cyfrowy, można prowadzić dalsze analizy wymiarowe i symulacyjne. Jednym z obszarów zastosowania takich przestrzennych modeli jest analiza wypadków, uszkodzeń i awarii, których skutki mogą być przedstawione w postaci obrazu trójwymiarowego zamiast płaskich zdjęć bądź niejednoznacznych opisów.

Celem prezentowanego artykułu jest przedstawienie możliwości i efektów zastosowania metody skanowania przestrzennego do analizy uszkodzeń zespołów pojazdów na przykładzie tłoków silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym SW-680 uszkodzonych podczas jego zasilania benzyną w ramach prac sprawdzających właściwości wielopaliwowe tego silnika.

WŁAŚCIWOŚCI METODY

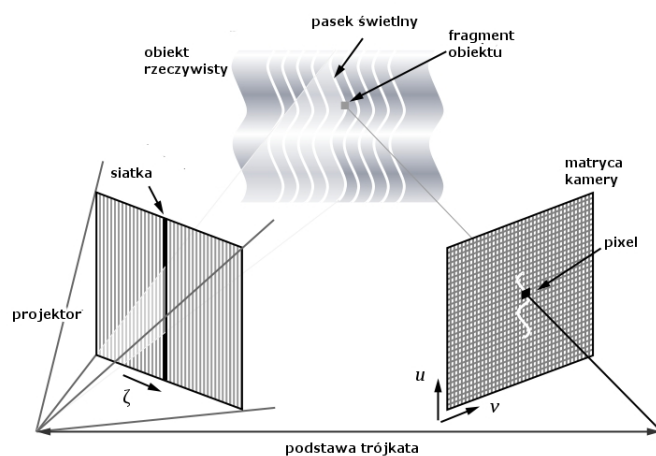
Spośród różnych systemów bezdotykowego skanowania trójwymiarowego obiektów mechanicznych do badań wykorzystywano system skanowania ATOS firmy GOM GmbH. Technologia zastosowana w systemie optycznym ATOS służy do digitalizacji obiektów głównie w przemyśle samochodowym, w inżynierii odwrotnej, w zastosowaniach analizy i kontroli jakości (kontrola pierwszej sztuki, montażu, produkcja i optymalizacja narzędzi, monitorowanie produkcji, kontrola dostaw) oraz do celów archiwizacji i wizualizacji dzieł sztuki i innych obiektów technicznych. Podstawowe zalety tej stosunkowo nowej technologii to:

- skanowanie i wizualizacja całego przedmiotu w 3D oraz jego porównanie z danymi CAD lub z innymi podobnymi przedmiotami;
- szybki proces pomiarowy;
- wysoka rozdzielczość i dokładność pomiaru.

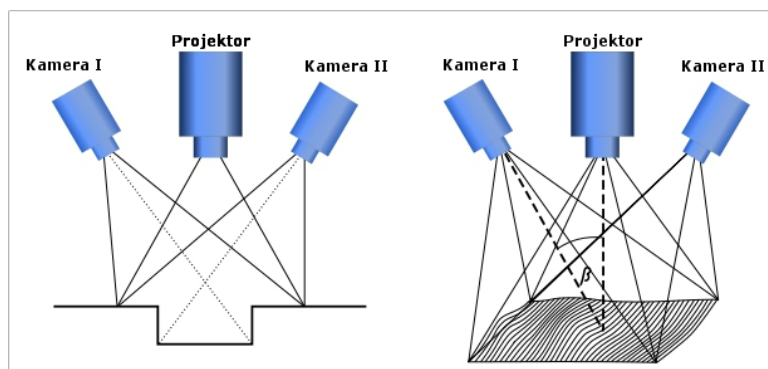
Współrzędne punktów na mierzonej powierzchni są wyznaczane na zasadzie triangulacji. Zespół przetwarzający obiekt składa się z projektora rzutującego na badany obiekt szereg prążków, których obraz na nierównej powierzchni ulega zniekształceniu odpowiednio do kształtu tej powierzchni (rys. 1.). Obraz prążków na skanowanym obiekcie jest rejestrowany za pomocą dwóch kamer zamocowanych na wspólnej belce stanowiącej podstawę trójkąta. Wierzchołki trójkąta stanowią: punkt na płaszczyźnie (rzutowany z projektora) oraz kamery obserwacyjne, które mierzą kąt, pod jakim widać dany punkt. Z prostych zależności geometrycznych można wyznaczyć współrzędne punktu X , Y , Z . Wynikiem takiego postępowania jest chmura do 4 milionów punktów dla każdego pojedynczego pomiaru wykonywanego w czasie 1 sekundy.

Obrazy powierzchni są przedstawiane w odcieniach szarości, co pozwala na odtworzenie głębi obrazu. Dokładność, z jaką skaner pozwala mierzyć zmiany kształtu powierzchni, wynosi 0,001 mm. Dokładność tę uzyskuje się przez zastosowanie dwóch kamer, co pozwala na dużą dokładność skanowania (rys. 2.). Podczas pomiarów użytkownik może pozycjonować głowicę na statywie przed przedmiotem mierzonym bez konieczności stosowania dodatkowych urządzeń zmieniających jego położenie. Znaczniki

umieszczone na obiekcie lub na jego otoczeniu służą jako punkty referencyjne umożliwiające łączenie obrazów. Wyniki możemy przedstawić jako siatkę trójkątów, chmurę punktów lub jako przekroje.



Rys. 1. Zastosowanie zasady triangulacji w skanowaniu 3D



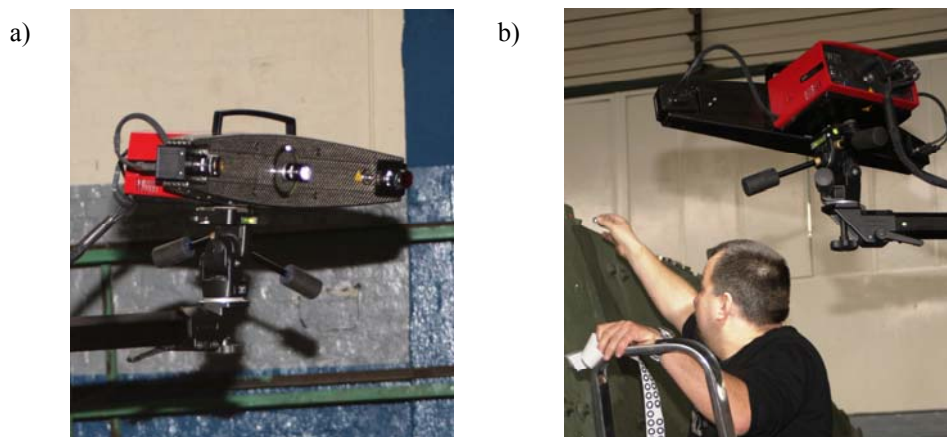
Rys. 2. Skanowanie za pomocą dwóch kamer zwiększające dokładność skanowania

Przy porównywaniu obrazów obiektów między sobą lub obrazów z danymi w postaci modeli CAD kolorowa mapa odchyłek przedstawia nam poglądowo odchyłki tak dużej liczby punktów pomiarowych.

Dokładność skanowania zależy od wymiarów przestrzeni, która jest skanowana. Im mniejsza jest ta przestrzeń, tym większa dokładność obrazu. Możliwe są następujące przestrzenie pomiarowe:

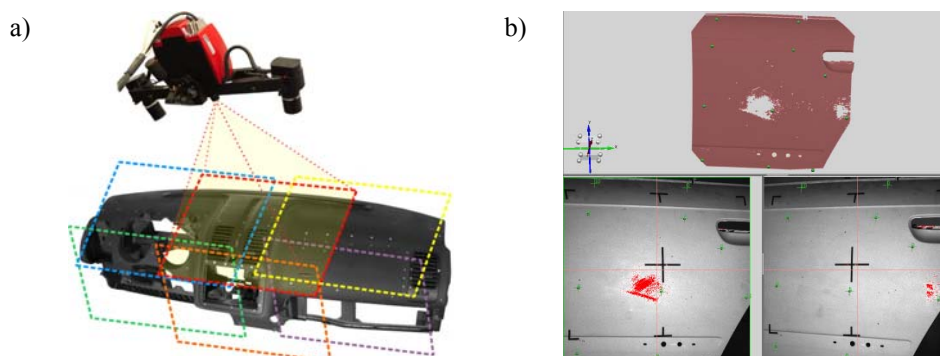
- z belką pomiarową od 2000x1600x1600 mm do 175x140x135 mm;
- pole typu SO od 250x250x200 do 55x44x30 mm.

Odpowiednio do pola skanowania dobiera się ramię, na którym umieszczona jest każda z kamer (rys. 3a). Ponieważ skanowanie obiektu polega na kilkukrotnym pomiarze z różnych stron i pod różnym kątem, na obiekt nanoszone są punkty referencyjne, które umożliwiają orientację powierzchni w przestrzeni oraz łączenie obrazów ze sobą (rys. 3b).



Rys. 3. Skaner optyczny: a) głowica skanera z projektorem i dwie kamery;
b) naklejanie punktów referencyjnych na skanowaną powierzchnię

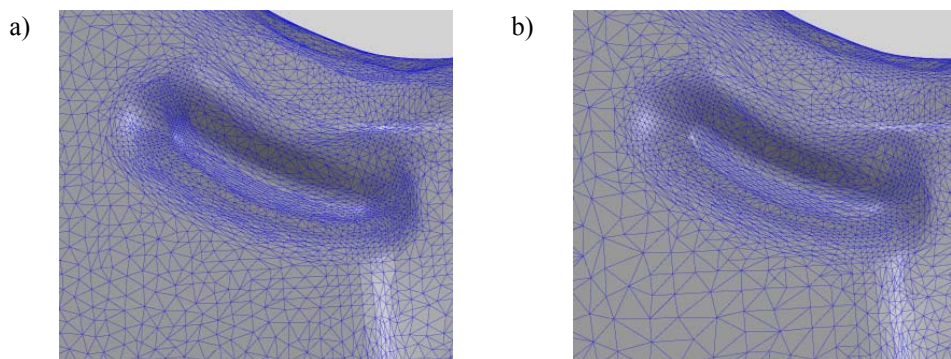
Wynikiem skanowania jest szereg obrazów, które są następnie łączone ze sobą (rys. 4a). Wielokrotne skanowanie powierzchni połączone z przesuwaniem kamer i skanowaniem pod różnymi kątami umożliwia likwidację obszarów pustych, które mogą być niewidoczne na skutek dużych odkształceń powierzchni (rys. 4b).



Rys. 4. Wyniki skanowania: a) łączenie obrazów powierzchni;
b) nieciągłości widoku powierzchni z dwóch kamer

Wynikiem skanowania jest szereg „chmur” punktów — jedna „chmura” dla każdego obrazu, które są przetransformowane do siatki wieloboków dającej się edytować. Odbywa się to poprzez poligonizację, czyli przetwarzanie niezachodzących na siebie trójkątów na siatkę. W zależności od zakrzywienia przedmiotu siatka ma różną gęstość (rys. 5.). Ten „raster poligonizacji” jest dopasowywany do siebie i ponownie obliczany z najwyższą rozdzielczością punktów. Obszary zachodzące na siebie są usuwane, a następnie „zszywana” jest siatka „wieloboków”.

Tak obrobiona chmura punktów może być przekształcona w siatkę trójkątów, a następnie importowana do programów MES-owskich.

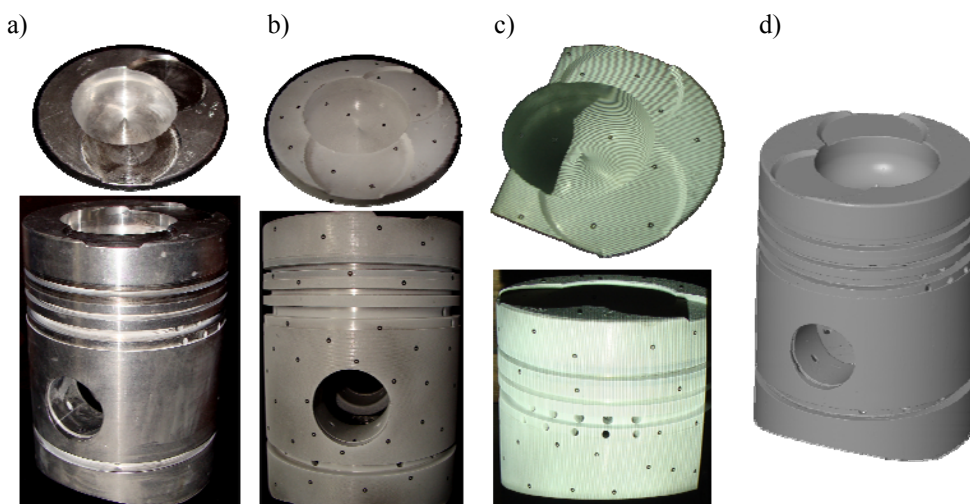


Rys. 5. Różne gęstości siatki po poligonizacji: a) siatka gęsta; b) siatka rzadka

SKANOWANIE USZKODZONYCH TŁOKÓW

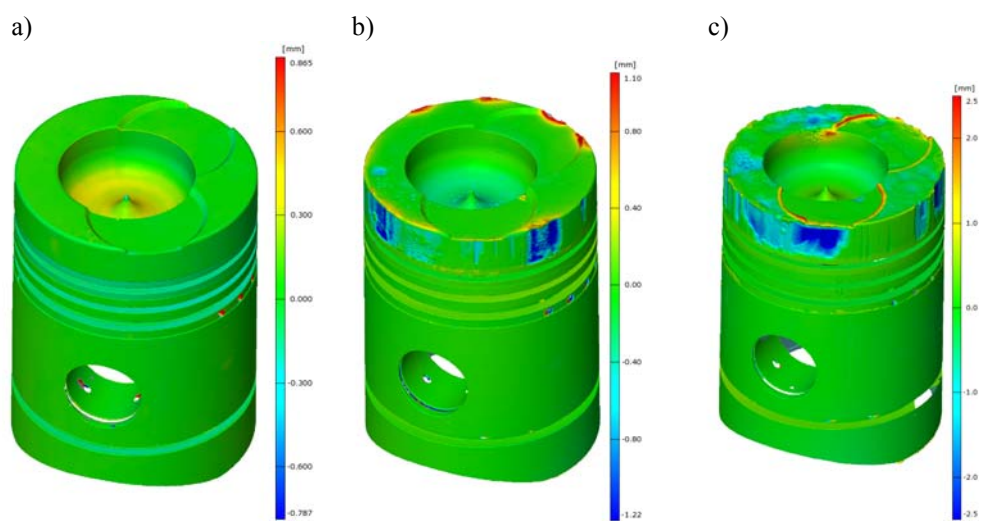
Efektom pracy silnika o zapłonie samoczynnym zasilanym benzyną niskooktanową były znaczne uszkodzenia denek tłoków oraz ich bocznej powierzchni między denkami i pierwszym pierścieniem uszczelniającym. Efektów tych nie można było dokładnie przedstawić na zdjęciach płaskich, a pomiary głębokości uszkodzeń były bardzo trudne i niedokładne. Wiadomości te uzyskano, przetwarzając obraz tłoków za pomocą skanera 3D.

Przed rozpoczęciem skanowania powierzchnię tłoków pokrywano warstwą sproszkowanej kredy za pomocą aerografu, zabezpieczając ją przed zniekształceniem obrazu na skutek odbicia światła (rys. 6b). Następnie na powierzchnię nanoszono punkty referencyjne. Ich zadaniem jest umożliwienie łączenia poszczególnych obrazów skanowania (rys. 6c) podczas obracania przedmiotu na obrotowym stole z napędem elektrycznym.



Rys. 6. Etapy skanowania tłoków: a) przed skanowaniem; b) po zmatowieniu powierzchni i naklejeniu punktów referencyjnych; c) oświetlony projektorem podczas skanowania; d) po procesie poligonizacji

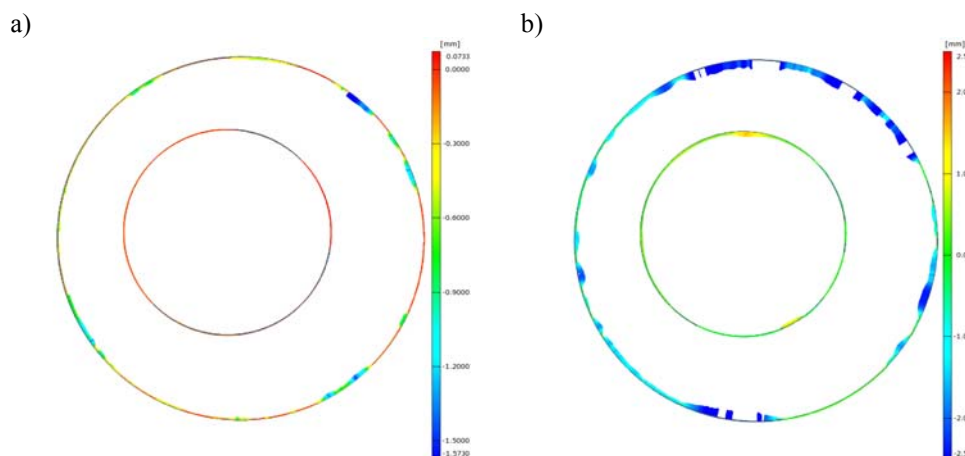
Obrazy uszkodzeń tłoków przedstawiono na rysunku 7. Mapa odchyłek wizualizuje pomiar. Każdy obiekt ma w swoim lewym dolnym rogu umowny zbieg osi X , Y , Z . Każdy punkt w pomiarze jest opisywany w trzech wymiarach. Czwarta wartość to odchylenie.



Rys. 7. Tłoki silnika SW-680: a) silnik nowy; b) tłok z uszkodzoną powierzchnią boczną; c) tłok z uszkodzoną powierzchnią i wypaleniami denka tłoka

Mała lepkość i gęstość benzyny niskooktanowej połączona z wtryskiem paliwa do komory spalania spowodowanym wydłużeniem okresu samozapłonu tego paliwa o zapłonie samoczynnym powodowała wtrysk części dawki paliwa na denko tłoka. Efektem było spalanie detonacyjne na denku tłoka, przegrzewanie tłoka i jego odkształcenia plastyczne połączone nawet z przenoszeniem części materiału z tłoka na cylinder silnika, szczególnie dobrze widoczne na rysunku 7c. W efekcie powstały duże zniekształcenia powierzchni bocznej tłoka, a także widoczne zagłębienia na denku tłoka.

Wykonanie rysunku przekroju w płaszczyźnie prostopadłej do osi tłoka pozwalało na przeanalizowanie głębokości uszkodzeń oraz ich położenia na bocznej powierzchni tłoka (rys. 8.). Przekroje wykonane w odległości 5 mm od powierzchni denka tłoka pokazują, że największe wgłębienia w bocznej powierzchni denka tłoka stwierdzono dla tłoka z rysunku 7c, który na rysunku 7. miał podobne obrazy zniekształceń. Dopiero porównanie przekroju z przekrojem tłoka nowego pozwoliło na liczbowe określenie wymiarów wgłębień. Ponadto widać, że największe wgłębienia występują w pobliżu osi sworznia, czyli w miejscach gdzie praktycznie tłok nie styka się z tuleją. Zmiany te spowodował niewątpliwie brak kontaktu z tuleją, a tym samym pogorszenie odprowadzania ciepła od gorącego tłoka.



Rys. 8. Zmiany profili ścianki bocznej nad pierwszym pierścieniem uszczelniającym, odpowiadające tłokom na rysunku 7.: a) tłok 7b; b) tłok 7c

WNIOSKI

1. Przedstawione wyniki badań świadczą o pełnej przydatności skanowania 3D do analizy odkształceń i wyznaczania wymiarów wielu obiektów o bardzo skomplikowanych

- kształtach i dowolnych wymiarach (od bardzo małych do obierków dużych), których analiza za pomocą metod stykowych byłaby trudna i niedokładna.
2. Metoda umożliwia porównania wartości nominalnych i rzeczywistych między pomiarem i danymi numerycznymi, takimi jak model CAD, chmury punktów lub dane STL.
 3. Za pomocą prezentowanej metody może być realizowana kontrola jakości, na przykład przy pomiarach odkształceń, błędów wykonawczych, weryfikacji dokładności wzajemnego dopasowania elementów poprzez wirtualny montaż w oprogramowaniu, a także zmiany kształtu powierzchni spowodowane uszkodzeniami.
 4. Metoda umożliwia tworzenie danych do sterowania obiektami (na powierzchniach krzywokreślnych lub wielobokach), do wytwarzania lub kopiowania wyrobów na centrach obróbczych CNC (np. frezarkach) i systemach Rapid-Prototyping.

Pracę wykonano w ramach projektu rozwojowego nr 0050/R/T00/2009/08.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *ATOS V6*, instrukcja obsługi systemu ATOS.
- [2] Materiały firmowe firmy GOM, www.gom.com.

FAILURE ANALYSIS OF COMBUSTION ENGINES ELEMENTS WITH SCANNER 3D

ABSTRACT

The paper presents a methodology used to analyze damage of piston combustion engines by means of 3D scanner enabling three-dimensional analysis. It shows the principle of the device operation and its investigative potentials. Damage done to pistons in operation of engines burning fuel with low octane number was used to analyze the potentials offered by the method. It assesses the accuracy damage to engine piston measurements.

Keywords:

combustion engines, 3D scanning, piston failure.

Recenzent kmdr dr hab. inż. Andrzej Grządziela, prof. AMW