

Maciej SZELEWSKI

POLITECHNIKA POZNAŃSKA, KATEDRA PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN

Mirosław GRZELKA

POLITECHNIKA POZNAŃSKA, INSTYTUT TECHNOLOGII MECHANICZNEJ, ZAKŁAD METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Wykorzystanie współrzędnościowej techniki pomiarowej oraz systemów CAD 3D w inżynierii odwrotnej

Mgr inż. Maciej SZELEWSKI

W 2002 roku ukończył studia wyższe na Politechnice Poznańskiej na Wydziale Maszyn Roboczych i Transporcie. Obecnie jest doktorantem na tym samym wydziale w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn. Obszar zainteresowań to reverse engineering i wykorzystanie w niej współrzędnościowej maszyny pomiarowej oraz systemów CAD/CAM.

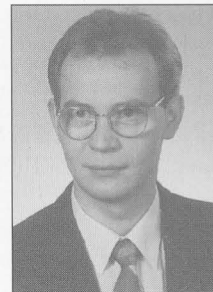
maciej_77@wp.pl



Mgr inż. Mirosław GRZELKA

Ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej w 1997 roku. Dorobek naukowy to 34 publikacje na krajowych i zagranicznych konferencjach. Zainteresowania badawcze związane są z pomiarami wielkości geometrycznych z wykorzystaniem współrzędnościowej techniki pomiarowej. Problematyka badań dotyczy pomiarów kół zębatych oraz nietypowych, krzywoliniowych elementów o złożonych kształtach jak również reverse engineering i szeroko rozumianej dokładności pomiarów.

mgrzelka@sol.put.poznan.pl

**Streszczenie**

W artykule zaprezentowano koncepcję systemu inżynierii odwrotnej wykorzystującego współrzędnościową technikę pomiarową oraz komputerowe techniki CAx wspomagające pracę inżyniera. Na przykładach przedstawiono sposób odzwierciedlenia elementów i ocenę dokładności ich zamodelowania w systemie CAD. Do digitalizacji przekrojów i powierzchni swobodnych została wykorzystana współrzędnościowa maszyna pomiarowa sterowana CNC, wyposażona w oprogramowanie metrologiczne.

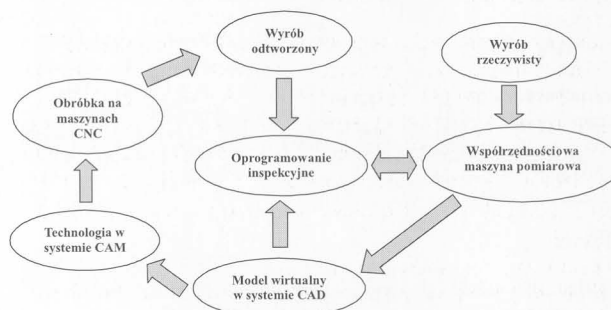
Abstract

The paper conception the reverse engineering system using coordinate measuring technology as well as computer techniques CAx to aid work of engineer was presented. Where presented basing on examples a way of reproduction of elements and evaluation of modeling accuracy theirs in system CAD. Coordinate measure machine controlled CNC, equipped into metrology software has been used for the digitalization of the sections and free surfaces.

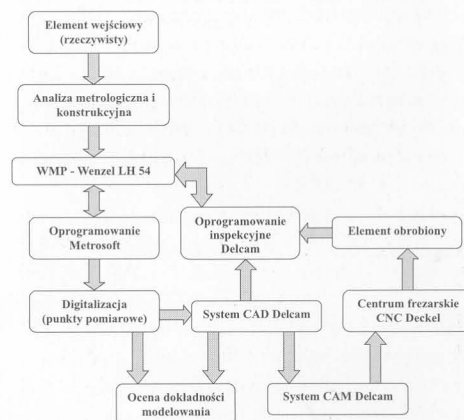
Słowa kluczowe: System inżynierii odwrotnej, odtworzenie elementu, współrzędnościowa maszyna pomiarowa, digitalizacja, system CAD/CAM

Keywords: Reverse engineering system, reproduction of element, coordinate measure machine, digitalization, CAD/CAM system

- oprogramowanie metrologiczne Metrosoft CM 3.41, zintegrowane z WMP,
- system CAD/CAM Delcam,
- centrum frezarskie CNC Deckel, wyposażone w sterownik Heidenhain TNC430,
- komplet frezów do obróbki szybkościowej - Fraisa,
- oprogramowanie inspekcyjne PowerINSPECT - Delcam.



Rys. 1. Koncepcja systemu inżynierii odwrotnej
Fig. 1. Conception of reverse engineering system



Rys. 2. Narzędzia i rozwój wyrobu zgodnie z koncepcją systemu inżynierii odwrotnej
Fig. 2. Tools and development of product in accordance with conception of reverse engineering system

1. Wprowadzenie

Wykonanie części zamiennej lub kopii elementu już istniejącego, dla którego nie ma dokumentacji technicznej wymaga zastosowania w procesie konstrukcji pomiarów z wykorzystaniem współrzędnościowej techniki pomiarowej (WTP). Wyroby posiadają określony kształt opisany podstawowymi elementami geometrycznymi (punkt, prosta, okrąg, płaszczyna, walec, kula czy torus) lub opisany za pomocą powierzchni wolnych 3D (swobodnych). Powierzchnie swobodne są podstawowymi elementami geometrycznymi opisującymi większość produktów (od telefonu komórkowego po najnowsze modele samochodów). Inżynieria odwrotna (Reverse Engineering RE) pozwala na rozwiązanie problemów związanych z pomiarami, konstrukcją i technologią wykonania najbardziej skomplikowanych elementów.

2. Inżynieria odwrotna

Inżynieria odwrotna to system, który łączy współrzędnościową technikę pomiarową, system CAD/CAM, technologię oraz oprogramowanie inspekcyjne. Wykorzystanie tych technik komputerowych CAx oraz maszyn CNC w systemie inżynierii odwrotnej pozwala na odtworzenie wyrobu - pomiar (skanowanie), konstrukcja, wykonanie i sprawdzenie wyrobu (rys. 1).

Koncepcję systemu inżynierii odwrotnej tworzą następujące narzędzia (rys. 2):

- współrzędnościowa maszyna pomiarowa (WMP) Wenzel LH 54 - wyposażona w stykową głowicę pomiarową i przegub obrotowy uchylny (niepewność pomiaru WMP: $MPE_E = 2 + L/400$ mm),

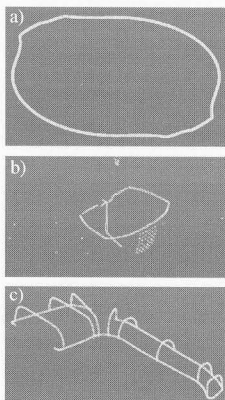
Operacje wykonywane w systemie inżynierii odwrotnej:

1. Orientowanie przedmiotu mierzonego w przestrzeni pomiarowej WMP.
2. Digitalizacja (skanowanie) elementu wejściowego - pomiary przekrojów i powierzchni.
3. Modelowanie elementu w systemie CAD na podstawie punktów pomiarowych uzyskanych w procesie digitalizacji.
4. Porównanie modelu CAD z punktami pomiarowymi - ocena dokładności zamodelowania.
5. Projektowanie technologii w systemie CAM.

6. Wykonanie przedmiotu - technologia.
7. Inspekcja - pomiary i porównanie elementu wykonanego z modelem CAD.

3. Digitalizacja (WMP) i modelowanie (system CAD)

Przykładowymi elementami poddanymi RE były krzywki 2D, termoforma oraz klamka. Przeprowadzono digitalizację przekrojów i powierzchni niezbędnych do opisanie elementu wejściowego. Podczas digitalizacji przekrojów i powierzchni automatycznie realizowana była kompensacja punktów pomiarowych o promień kulki pomiarowej. Polega ona na przesunięciu punktu pomiarowego (punktu środka kulki końcówki pomiarowej) w kierunku normalnym do mierzonej powierzchni o wartość promienia kulki. W wyniku czego otrzymuje się punkt leżący na powierzchni (przekroju) rzeczywistej obciążony błędem niepewności WMP [1].



Uzyskane w procesie digitalizacji współrzędne punktów opisujące poszczególne zarysy i powierzchnie zapisane zostały w neutralnym formacie graficznym VDA, co umożliwiło ich import do systemu CAD (rys. 3).

Rys. 3. Punkty pomiarowe zaimportowane w systemie CAD: a) krzywka, b) termoforma, c) klamka
Fig. 3. Measure points imported in CAD system: a) cam, b) mould, c) door handle

Po zaimportowaniu punktów do systemu CAD można przystąpić do zamodelowania elementu. W początkowej fazie badań w procesie modelowania elementów wykorzystano krzywe Béziera. W kolejnych badaniach do zamodelowania elementów zostaną również użyte inne krzywe parametryczne jak np. krzywe splejane typu B (B-spline). Zamodelowanie elementu przy użyciu różnych krzywych parametrycznych oraz sprawdzenie dokładności zamodelowania pozwoli na wybór odpowiedniej krzywej.

Parametryczna krzywa Béziera służy do wykreślenia skomplikowanych kształtów. Jest ona określona przez tzw. punkty kontrolne [2]:

- punkt początkowy i końcowy (należą do krzywej),
- inne punkty (które nie należą do krzywej).

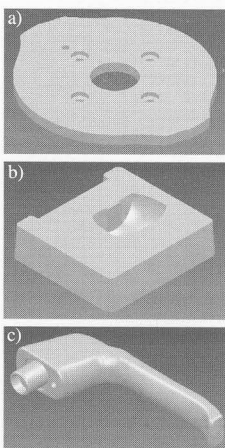
Krzywą Béziera $f(t)$ definiujemy jako kombinację liniową wielomianów Bernsteina:

$$f(t) = \sum_{i=0}^{i=n} P_i \cdot B(i, n, t) \quad (1)$$

gdzie: P_i – i -ty punkt kontrolny, $B(i, n, t)$ – wielomian Bernsteina.

Przestrzenny model krzywki stworzono wykorzystując algorytmy do tworzenia krzywej Béziera, a następnie zamodelowano bryłę wykorzystując funkcję „solid extrusions”. Model przestrzenny termoformy powstał przez stworzenie z wyznaczonej krzywej Béziera powierzchni - funkcja „surface of revolution”. Natomiast do zamodelowania klamki została użyta funkcja „create surface from network of curves”.

Modele przestrzenne krzywki, termoformy i klamki przedstawia rys. 4.

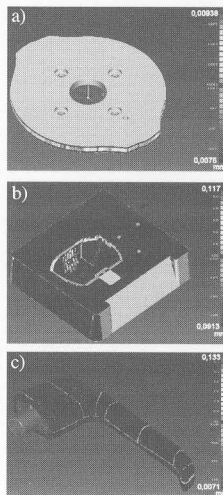


Rys. 4. Modele przestrzenne detali: a) krzywka, b) termoforma, c) klamka
Fig. 4. Three-dimensional models of products: a) cam, b) mould, c) door handle

4. Ocena dokładności zamodelowania

Cyfrowy model przestrzenny elementu wejściowego oraz punkty pomiarowe pozwalają na porównanie modelu CAD z punktami pomiarowymi. Wynikiem porównania są błędy stworzonego modelu

matematycznego w systemie CAD w stosunku do pomiarów na WMP. Wykorzystując możliwości programu Imageware wchodzącego w skład pakietu systemu CAD I-DEAS wyznaczono poszczególne błędy w punktach odwzorowania powierzchni zamodelowanych. Użyta została funkcja porównania powierzchni z „chmurą punktów”. Wyniki prezentuje rys. 5.



Dla krzywki błąd wynosi: 0,016 mm, gdzie:
- maksymalny błąd dodatni: 0,009 mm,
- maksymalny błąd ujemny: -0,007 mm.

Dla termoformy błąd wynosi: 0,208 mm, gdzie:

- maksymalny błąd dodatni: 0,117 mm,
- maksymalny błąd ujemny: -0,091 mm.

Dla klamki błąd wynosi: 0,140 mm, gdzie:
- maksymalny błąd dodatni: 0,133 mm,
- maksymalny błąd ujemny: -0,007 mm.

Założone odchyłki:

- dla krzywki: $\pm 0,05$ mm,
- dla termoformy: $\pm 0,2$ mm,
- dla klamki: $\pm 0,15$ mm.

Rys. 5. Błędy projektowania: a) krzywka, b) termoforma, c) klamka

Fig. 5. Design errors: a) cam, b) mould, c) door handle

5. Wnioski

Wykorzystanie w przedstawionej koncepcji systemu inżynierii odwrotnej takich narzędzi jak techniki komputerowe CAX oraz maszyny CNC, pozwala na:

- dobranie strategii pomiarowej i obróbczej w zależności od kształtu elementu,
- zautomatyzowanie procesu digitalizacji dzięki sterowaniu CNC - program komputerowy,
- użycie w procesie digitalizacji różnego rodzaju głowic pomiarowych - stykowe lub bezstykowe,
- przeprowadzenie inspekcji wykonanego elementu dzięki zastosowaniu WMP i oprogramowania metrologicznego,
- skrócenie czasu reagowania na zmiany i wprowadzania tych zmian do projektu, dzięki temu, że wszystkie informacje dotyczące procesu digitalizacji, projektowania, wytwarzania i kontroli są przechowywane w postaci cyfrowej,
- zautomatyzowanie procesu digitalizacji, projektowania, wykonania i inspekcji.

W kolejnych etapach badań przedstawionego systemu inżynierii odwrotnej zostanie zaprojektowana technologia w systemie CAM oraz fizyczne wykonanie elementu wejściowego. To pozwoli przy użyciu oprogramowania do inspekcji na ocenę dokładności wykonania elementu - porównanie wykonanego elementu z modelem CAD. Na podstawie uzyskanej oceny dokładności będzie można przeprowadzić odpowiednią korektę.

Literatura

- [1] E. Ratajczyk: Współrzędnościowa technika pomiarowa. Maszyny i roboty pomiarowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994.
- [2] P. Kiciak: Podstawy modelowania krzywych i powierzchni - zastosowania w grafice komputerowej. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
- [3] Farin G.: „Curves and Surfaces for computer aided geometric design”, Academic Press, New York 1993.
- [4] Michael E. Mortenson, „Mathematics for Komputer Graphics Applications”, Industrial Press 1999.

Title: To Use Coordinate Measuring Technology and 3D CAD Systems in Reverse Engineering