

ZASTOSOWANIE INŻYNIERII ODWROTNEJ DO MODELOWANIA UCHWYTÓW ERGONOMICZNYCH

MAREK WYLEŻOŁ

*Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska
e-mail: mwylezol@polsl.pl*

Streszczenie. Praca dotyczy praktycznego zastosowania procesu projektowo-konstrukcyjnego realizowanego zgodnie z zasadami inżynierii odwrotnej do uzyskania nowych postaci modeli wirtualnych oraz fizycznych (użytkowych) uchwytów ergonomicznych.

1. WSTĘP

Głównym celem ergonomii, jako działalności naukowej i aplikacyjnej, jest dostosowywanie maszyn, narzędzi, materialnego środowiska i organizacji pracy oraz życia i przedmiotów powszechnego użytku do możliwości i ograniczeń człowieka.

Osiągnięcie tego celu w dziedzinie techniki realizowane jest za pomocą tzw. projektowania ergonomicznego [4]. Ten rodzaj projektowania dotyczy kształtowania ergonomicznej przestrzeni pracy człowieka, jak również tzw. zmniejszenia obciążenia pracą.

Jednym z elementów wpływających na zmniejszenie obciążenia pracą w przypadku konieczności manualnego kontaktu człowieka z maszynami, urządzeniami czy też innymi przedmiotami codziennej użyteczności jest zapewnienie odpowiedniego komfortu ręcznego chwytu. Komfort ręcznego chwytu jest uzależniony głównie od dopasowania cech geometrycznych i tworzywowych uchwytu do dłoni człowieka.

Wynika więc z tego, że optymalnym rozwiązaniem ukształtowania postaci geometrycznej danego uchwytu byłoby jego dokładne dopasowanie do dłoni konkretnego człowieka. Potrzeba taka jest wprawdzie dosyć rzadka, ale w pełni możliwa do zaspokojenia. Częściej jednak istnieje potrzeba wykonania uchwytu o cechach ergonomicznych, ale zapewniającego komfort chwytu dla większej populacji ludzi.

Osobnym problemem jest proces kształtowania danego uchwytu. W razie zaistnienia potrzeby wykonania uchwytu dokładnie dopasowanego do danej dłoni współcześnie stosowane nowoczesne środki modelowania, jakimi są systemy CAD, okazują się niewystarczające. Głównym powodem problemów jest tu brak stosownej interakcji dłoni człowieka z powstającym modelem. Możliwość taka jednak istnieje, ale nie w sferze wirtualnej.

Interakcja dłoni z powstającym modelem możliwa jest w sferze modelowania ręcznego z zastosowaniem materiałów plastycznych (np. gips, glina, masa modelarska). Formowanie postaci uchwytu następuje wtedy poprzez jego dopasowanie do kształtu dłoni człowieka w danej pozycji (lub pozycjach) chwytu. Taki sposób postępowania okazuje się być również właściwy w razie konieczności wykonania uchwytu ergonomicznego o postaci uogólnionej.

Wykonany za pomocą ręcznego kształtowania materiału plastycznego model uchwytu ergonomicznego nie jest jednak wystarczający do praktycznego zastosowania. Z powodu powszechności stosowania systemów CAD jedyną akceptowalną formą zapisu postaci modelu jest postać cyfrowa. Dlatego też powierzchnia modelu fizycznego uchwytu podlega digitalizacji. Efektem tego procesu jest chmura punktów, będąca dyskretnym odwzorowaniem postaci powierzchni zewnętrznej modelu uchwytu.

Chmura punktów jest postacią wystarczającą do realizacji dalszych działań o charakterze modelowym, w celu uzyskania dokładnej postaci konstrukcyjnej i technologicznej uchwytu. Taki sposób postępowania: od ręcznego ukształtowania modelu fizycznego, poprzez jego digitalizację, aż po uzyskanie dokładnego modelu 3D, jest określany jako inżynieria odwrotna [2, 3] (patrz: rozdz. 2.).

2. INŻYNIERIA ODWROTNA

Jak już wspomniano we wstępie, istnieje sfera działań inżynierskich, gdzie postać konstrukcyjna przyszłego wytworu lub jego części jest trudna lub niemożliwa do jednoznacznego geometrycznego określenia w sferze przestrzeni roboczych inżynierskich lub graficznych systemów komputerowych. Dotyczy to m.in. wspomnianych uchwytów ergonomicznych.

W takich przypadkach rozwiązanie problemu odwzorowania postaci (głównie zewnętrznej) przyszłego wytworu polega na wykonywaniu modeli fizycznych (wzorcowych) za pomocą „ręcznego” kształtowania materiałów plastycznych. Takie podejście często stosują np. styliści, posiadający zmysł artystyczny, stosowne umiejętności manualne oraz - przede wszystkim - wiedzę na temat oczekiwań potencjalnych nabywców produktu co do jego postaci. Przy kształtowaniu postaci uchwytów ergonomicznych, wskazana jest interakcja pomiędzy człowiekiem (przyszłym użytkownikiem wytworu) a kształtowaną postacią modelu fizycznego uchwytu już na etapie jego kształtowania.

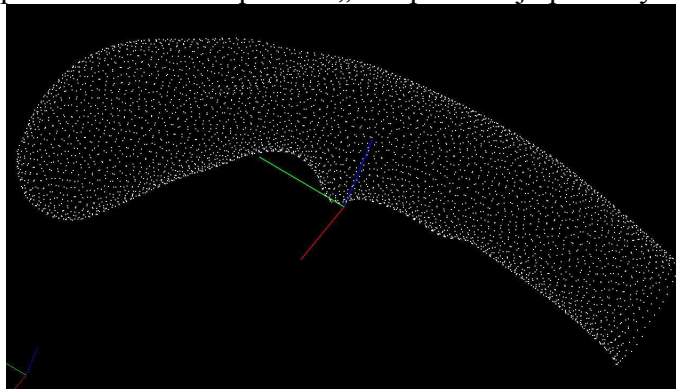
Modele fizyczne, np. uchwytów, powstałe w wyniku manualnego kształtowania są zwykle nieokreślone geometrycznie co do swojej postaci. Poza tym ich postaci nie zawsze są doskonałe (z powodu techniki ich kształtowania) oraz najczęściej nie są kompletnymi modelami - zwykle stanowią odwzorowania jedynie postaci zewnętrznej. Tak więc w sytuacji, gdy nie istnieje jednoznaczny zapis konstrukcji wytworu (w postaci rysunku technicznego lub modelu wirtualnego), a jedynym nośnikiem informacji o jego postaci geometrycznej jest manualnie ukształtowany model fizyczny, realizacja klasycznego procesu projektowo-konstrukcyjnego jest niemożliwa.

Rozwiązaniem tego problemu jest realizacja procesu projektowo-konstrukcyjnego zgodnie z zasadami inżynierii odwrotnej (ang. *reverse engineering*). Charakterystyczną cechą tego procesu jest stosowanie modelu fizycznego (wzorcowego) jako elementu wejściowego do realizacji procesu konstrukcyjno-wytwórczego [2, 3, 12].

Aby to jednak było możliwe, powierzchnia modelu fizycznego musi zostać przekształcona do postaci cyfrowej. Postać taką uzyskujemy poprzez digitalizację powierzchni z użyciem digitalizatorów [8]. Efektem tego procesu jest dyskretna reprezentacja powierzchni obiektu w postaci chmury punktów.

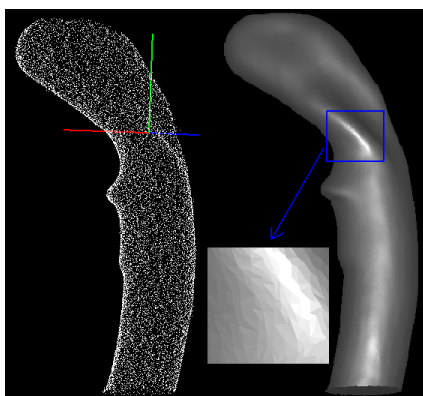
Chmura punktów (rys. 1), jako cyfrowe odwzorowanie powierzchni obiektu fizycznego, nie jest formą modelu nadającą się do bezpośredniego zastosowania w systemach komputerowego wspomagania konstruowania (CAD). Systemy te bazują bowiem głównie na

modelach bryłowych [9], powierzchniowych lub hybrydowych [10]. Dlatego też chmura punktów musi zostać przekształcona do postaci „akceptowanej” przez systemy CAD.



Rys.1. Przykład modelu uchwytu w postaci chmury punktów [1]

Pierwsza z niezbędnych transformacji polega na połączeniu odcinkami poszczególnych punktów chmury w taki sposób, aby każdy punkt stał się wierzchołkiem trójkąta. Proces taki nazywany jest triangulacją. Powstała w ten sposób siatka trójkątów zwana jest również powierzchnią poligonalną (rys. 2).



Rys.2. Przykład zastosowania triangulacją (po lewej widoczna chmura punktów, po prawej widoczna powstała z niej siatka trójkątów) [1]

Siatka trójkątów podlega następnym transformacjom, których celem jest otrzymanie modelu powierzchniowego. Współcześnie istnieje wiele metod bazujących na siatkach trójkątów, pozwalających na utworzenie ciągłych powierzchni parametrycznych, zwykle klasy NURBS.

Uzyskanie modelu o powierzchni ciągłej jest bowiem warunkiem koniecznym dokonania jego transformacji do postaci modelu bryłowego. Model bryłowy jest końcową postacią, jaką możemy otrzymać w realizowanym procesie ogólnie pojętej inżynierii odwrotnej. Ze względu na stosunkowo duże możliwości modelowania bryłowego, na tym etapie zwykle dokonuje się wzbogacenia i uszczegółowienia postaci modelu o wszystkie niezbędne elementy jego postaci.

W ten sposób otrzymuje się finalną postać modelu.

3. WIRTUALNE MODELE UCHWYTÓW ERGONOMICZNYCH

Przedstawione w niniejszym rozdziale modele uchwytów stanowią przykład stosowania znanych zasad inżynierii odwrotnej oraz nowoczesnych metod i systemów modelowania wirtualnego do uzyskiwania nowatorskich postaci uchwytów ergonomicznych.

3.1. Model uchwytu wędki spinningowej

Model ergonomicznego uchwytu wędki spinningowej powstał jako - swego rodzaju - odpowiedź na wyniki wykonanej analizy istniejącego stanu rzeczy w dziedzinie wędkarstwa. Większość współczesnych uchwytów wędek spinningowych posiada postać różnie ukształtowanej bryły (zwykle obrotowej). Postać tych uchwytów nie uwzględnia elementów ukształtowania dłoni wędkarza podczas „pracy” z wędziskiem. Nie pozwala wykorzystać np. kciuka do wykonywania stosownych ruchów podczas wędkowania (rys. 3).



Rys.3. Przykłady postaci standardowych uchwytów wędek [6]

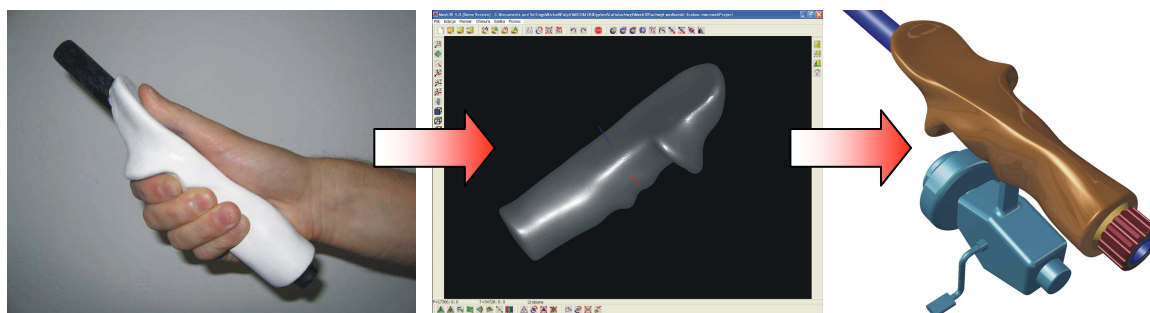
Dlatego też zaproponowano nową postać uchwytu wędki spinningowej. Głównym kryterium wyboru takiej postaci były względy ergonomiczne – maksymalna wygoda chwytu oraz umożliwienie wykorzystania kciuka do wspomagania wykonywania stosownych ruchów wędziskiem podczas spinningowania. Podczas ręcznego kształtowania postaci uchwytu z użyciem materiału plastycznego (glinka samoutwardzalna) uwzględniono charakterystyczne ukształtowanie ludzkiej dłoni, trzymającej uchwyt wędziska. Część postaci tak tworzonego uchwytu zawiera wręcz „odciśnięte” fragmenty dłoni.

Postać modelu wzorcowego została zweryfikowana na grupie ok. 30 osób. Pozwoliło to na jego ogólniejsze dopasowanie do większej liczby dłoni. Model wzorcowy nie powinien być bowiem nadmiernie dopasowany do konkretnej dłoni (w przypadku docelowego stosowania takiego uchwytu do większej populacji ludzi).

Na podstawie modelu fizycznego powstał wirtualny model bryłowy. Jego powstanie zostało zrealizowane w trzech etapach:

1. Digitalizacja modelu fizycznego – zastosowano optoelektroniczny skaner 3D. Wynikiem tego etapu była chmura punktów, przekształcona następnie do siatki trójkątów. Wszystkie działania edycyjne związane z powstaniem chmury punktów i siatki trójkątów zostały wykonane z użyciem systemu Mesh3D [8].
2. Wykonanie modelu powierzchniowego - użyto systemu klasy CAX - CATIA v5 [7]. Powierzchnia modelu powstała poprzez „półautomatyczne” rozpięcie na siatce trójkątów kilkuset osobnych płatów powierzchni z zachowaniem ciągłości pomiędzy nimi w klasie G3 [5], (dzięki czemu uzyskano ciągłą i gładką powierzchnię).
3. Wykonanie modelu bryłowego – z użyciem narzędzi programowych systemu CATIA. Model powierzchniowy został automatycznie przekształcony na model bryłowy (zachowuje zewnętrzną postać modelu powierzchniowego). Następnie jego postać została udoskonalona [12] i „doposażona” w niezbędne elementy związane np. z mocowaniem kołowrotka (rys. 4).

Do weryfikacji przyjętych założeń postaci uchwytu wykonano również jego model funkcjonalny (patrz: rozdz. 4).



Rys.4. Widoczna ewolucja modelu uchwyty wędki spinningowej (od lewej): model wzorcowy (fizyczny), model w postaci siatki trójkątów oraz dokładny model bryłowy (wraz z modelami wędki i kołowrotka) [6]

3.2. Model uchwyty spawalniczego

Model ergonomicznego uchwyty spawalniczego do techniki TIG powstał również jako odpowiedź na wyniki wykonanej analizy istniejącego stanu rzeczy w dziedzinie spawalnictwa. Większość współczesnych uchwyty spawalniczych posiada postacie dość „proste”, rzadko wyposażone o elementy zwiększające ich ergonomię (rys. 5).



Rys.5. Przykład postaci współczesnych uchwyty spawalniczych [1]

Dlatego i w tym przypadku zaproponowano zupełnie nową postać uchwyty spawalniczego. Podobnie jak w p. 3.1, głównym kryterium wyboru takiej postaci uchwyty był wzgląd na ergonomię jego stosowania, a więc głównie zapewnienie komfortu trzymania uchwyty podczas długotrwałych prac spawalniczych. Kształtując ręcznie postać uchwyty z użyciem plastycznej samoutwardzalnej glinki, uwzględniono charakterystyczne ukształtowanie ludzkiej dłoni podczas procesu spawania (również z uwzględnieniem nałożonej na dłoń rękawicy ochronnej).

Postać modelu wzorcowego była wielokrotnie weryfikowana (podczas kształtowania uchwyty) przez spawacza z wieloletnim doświadczeniem. Pozwoliło to na uniknięcie ewentualnych błędów postaciowych.

Należy tu jednak zaznaczyć, że postać modelu wzorcowego obejmowała jedynie tę część powierzchni, która ma wpływ na jego komfortowe uchwycenie.

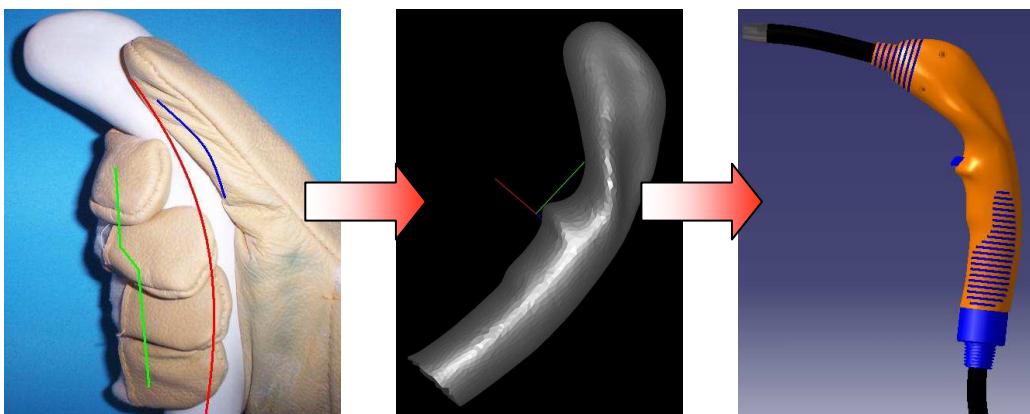
Proces powstawania modelu wirtualnego uchwyty spawalniczego był podobny – w kontekście realizowanych etapów – do opisanego w punkcie poprzednim. A więc: powierzchnia wykonanego modelu została przekształcona do postaci cyfrowej (chmura punktów), następnie – poprzez liczne operacje modelowania powierzchniowego oraz bryłowego – uzyskano ostateczną postać wirtualnego modelu uchwyty. Również w tym

przypadku do procesu modelowania powierzchniowo - bryłowego użyto systemu CATIA v5 [7].

Z powodu znacznego uproszczenia postaci modelu fizycznego uchwytu, różnice pomiędzy tym modelem a ostateczną wersją wirtualnego modelu bryłowego są dość znaczne (rys. 6). Podczas tworzenia docelowej postaci modelu uwzględniono m.in. potrzeby:

- zwiększenia tarcia pomiędzy dłonią ubraną w rękawicę spawalniczą a powierzchnią uchwytu,
- odprowadzania nadmiernej ilości ciepła z okolic głowicy,
- prowadzenia wewnątrz uchwytu przewodu ochronnego wraz z drutem spawalniczym.

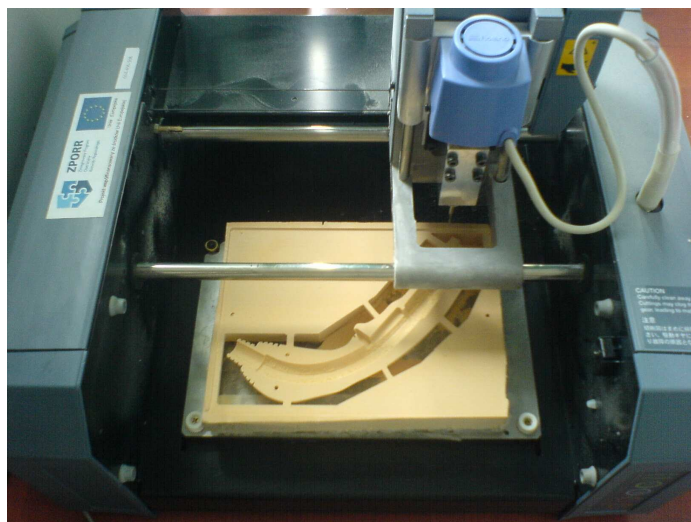
W celu dalszej organoleptycznej weryfikacji poprawności przyjętej koncepcji postaci uchwytu wykonano jego model funkcjonalny (o znacznie większej trwałości niż model wzorcowy wykonany z glinki). Został on wytworzony za pomocą techniki frezowania, z użyciem frezarki klasy CNC (patrz: rozdz. 4).



Rys.6. Przykład ewolucji modelu uchwytu spawalniczego (od lewej): model wzorcowy (fizyczny), model w postaci siatki trójkątów oraz dokładny model bryłowy (uzupełniony o elementy głowicy spawalniczej i przewodu doprowadzającego drut spawalniczy) [1]

4. MODELE UŻYTKOWE UCHWYTÓW ERGONOMICZNYCH

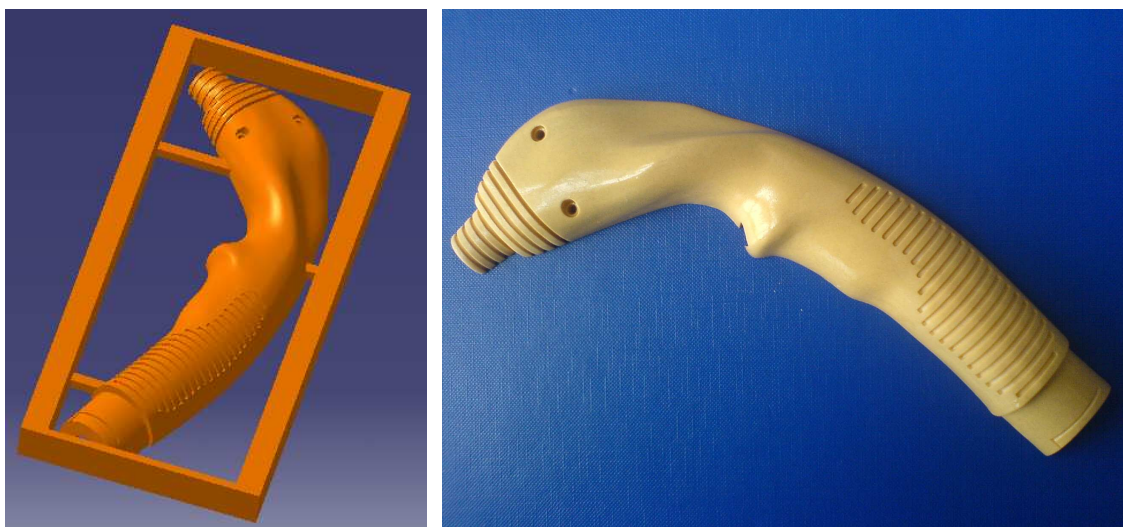
Do wykonania modeli użytkowych wspomnianych w poprzednim rozdziale uchwytów ergonomicznych zastosowano frezarkę klasy CNC - Roland Modela MDX-20 (rys. 5).



Rys.7. Widok frezarki MDX-20 wraz z wykonanym modelem uchwytu

W celu umożliwienia wykonania procesu obróbki zgodnie z algorytmem zastosowanego systemu klasy CAM (Roland Modela Player 4.0) dokonano pewnych modyfikacji postaci modeli wirtualnych.

Modyfikacje te dotyczą wykonania ramek oraz uźebrowań podtrzymujących obiekt podczas procesu dwustronnej obróbki (rys. 6).



Rys.8. Widok modelu technologicznego uchwytu spawalniczego oraz efekt jego obróbki - model funkcjonalny (uźebrowania i ramka pozycjonująca zostały usunięte) [1]

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Wykonane czynności podczas modelowania przedstawionych uchwytów ergonomicznych pozwalają na sformułowanie następujących wniosków i uwag:

- stosowanie digitalizacji jest niezbędne podczas procesu projektowo-konstrukcyjnego, gdzie postać początkowa obiektu jest geometrycznie nieokreślona,
- stosowanie postępowania według zasad inżynierii odwrotnej podczas konstruowania uchwytów ergonomicznych ułatwia wczesną weryfikację ich ergonomiczności,

- zastosowanie znanych zasad inżynierii odwrotnej oraz współczesnych systemów modelowania wirtualnego może prowadzić do uzyskiwania zupełnie nowych postaci obiektów powszechnej użyteczności (w tym przypadku uchwytów),
- efekt procesu digitalizacji stanowi „wejście” do procesu modelowania geometrycznego z zastosowaniem systemów CAD,
- efekt procesu digitalizacji może być bezpośrednio zastosowany w procesie wytwórczym z zastosowaniem obrabiarek klasy CNC.

LITERATURA

1. Burzyński R.: Wirtualny model ergonomicznego uchwytu narzędzia ślusarskiego (praca przejściowa II). Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice, 2007.
2. Chlebus E.: Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji. Warszawa: WNT, 2000.
3. Chlebus E. (red.): Innowacyjne technologie rapid prototyping - rapid tooling w rozwoju produktu. Wrocław: Oficyna Wyd. Pol. Wrocł. 2003.
4. Dietrych J.: System i konstrukcja. Warszawa: WNT, 1985.
5. Kiciak P.: Podstawy modelowania krzywych i powierzchni. Warszawa: WNT, 2000.
6. Ogierman M.: Zastosowanie inżynierii odwrotnej do wytworzenia modelu konstrukcyjnego ergonomicznego uchwytu wędziska spinningowego (praca dyplomowa magisterska). Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice, 2006.
7. <http://plm.3ds.com>.
8. <http://www.smarttech.pl>.
9. Wyleżoł M.: Modelowanie bryłowe w systemie CATIA. Przykłady i ćwiczenia. Gliwice: HELION, 2002.
10. Wyleżoł M.: CATIA. Podstawy modelowania powierzchniowego i hybrydowego. Gliwice: HELION, , 2003.
11. Wyleżoł M.: Inżynieria odwrotna w doskonaleniu konstrukcji. „Modelowanie Inżynierskie” 2006, Tom 1, nr 32, s. 485- 490.
12. Wyleżoł M.: Inżynieria odwrotna w zastosowaniach ergonomicznych. „Mechanik” 2006 nr 11, s. 934 – 935.

MODELING OF ERGONOMIC HANDLE WITH USAGE OF REVERSE ENGINEERING

Summary. One of elements influencing on decrease of work loading in case of a manual contact between man and machines, machineries or everyday using things is assurance of comfort of a manual handle. The comfort of manual handle depends on fitting geometrical and material features to man's hand...

In this paper the author will present examples of usage reverse engineering to obtain shapes of several different ergonomic hand grips.