

WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA PRZEDKUWEK

DESIGN PROCESS FOR DIE FORGING FOR IDEAL PREFORMS

W pracy tej przedstawiłem aplikację wspomagającą proces projektowania przedkuwek idealnych. Program wykorzystuje interfejs OLE zaimplementowany w aplikacji komercyjnej „Solid Works 2000”. Program w znacznym stopniu ułatwia i przyspiesza proces projektowania przedkuwek jednocześnie podaje charakterystyczne wartości. Aplikacja jest przydatna dla analizy idealnych przedkuwek z osią wydłużoną.

Słowa kluczowe: proces projektowania przedkuwek, analiza przedkuwek

In this work is presented an own application, supporting the design process for die forging for ideal preforms. The program is using the automatic OLE interface and is an add on for commercial application “Solid Works 2000”. Its usage allows less complicated and quick ideal preforms designing and at the same time maintaining very precise volume measurable characteristic. This application is particularly useful for analyzing ideal preforms with extended axis

Keywords: design process for die forging, analyzing preforms

1. Wstęp

Odkuwka jest półwyrobem lub wyrobem wykonanym technologią kucia. Charakteryzuje się ona wieloma zaletami: wymiary odkuwki minimalnie różnią się od wymiarów gotowego wyrobu. Koszt jednostkowy w produkcji seryjnej jest zwykle niższy niż odlewu lub części wykonanej przez skrawanie, a właściwości mechaniczne odkuwek są zwykle korzystniejsze. Projekt odkuwki opracowuje się na podstawie rysunku wykonawczego części. Przystępując do opracowania odkuwki należy ustalić: naddatki na obróbkę skrawaniem, skosy matrycowe, promienie zaokrągleń, kształty i wymiary denek oraz inne specjalne warunki wykonania. Następnie wyznacza się ilość etapów kucia, która zależy głównie od stopnia skomplikowania części oraz kształtów przedkuwki dla każdego etapu.

Wielkość naddatków na obróbkę skrawaniem zależy przede wszystkim od kształtu i wymiarów odkuwki, gatunku materiału wyjściowego, stanu maszyny, dokładności wykonania i ustawienia oprzyrządowania, jakości powierzchni materiału wyjściowego, sposobu nagrzewania materiału itp. Wielkość naddatku na obróbkę skrawaniem, dla odkuwek matrycowych kutych na młotach, waha się w zakresie 1,5÷7 mm. Polska Norma PN-64/H-94301 przewiduje minimalne wielkości naddatków zależne od klasy dokładności i wielkości odkuwki. Podane naddatki są funkcją wymiarów maksymalnych, takich jak: szerokość b lub średnica d oraz wysokość h lub długość l . Podane wartości dotyczą dwustronnej obróbki skrawaniem.

W przypadku jednostronnej obróbki przyjmuje się naddatki o połowę mniejsze. Jeżeli długość odkuwki jest trzykrotnie większa od największej szerokości b lub średnicy d , naddatki na obróbkę na długości należy przyjmować 1,5-2 razy większe. Mając na uwadze wyżej wymienione uwarunkowania proces projektowania jest pracochłonny oraz wymaga wykonywania wielu zadań geometrycznych i obliczeniowych. Istotne znaczenie mają działania geometryczne, bowiem każdy etap kucia zmienia wymiary i kształt obiektu. Zwykle bazuje się na rysunkach płaskich z wykorzystaniem planimetrii. W celu uzyskania większej dokładności, w pracy zaproponowano zastosowanie modelowania bryłowego. W tym celu dokonywano podziału przedkuwki na bryły elementarne o małej, skończonej objętości.

2. Idealna przedkuwka

Odkuwki matrycowe o prostych kształtach wykonuje się bezpośrednio z odcinków prętów, kęsów itd., natomiast te o złożonych kształtach wykonuje się z przedkuwek. W produkcji seryjnej i masowej stosuje się przedkuwki wstępnie matrycowane lub otrzymane w procesie walcowania periodycznego – najczęściej kuźniczego. W celu uzyskania jak najlepszych efektów ekonomicznych, to jest wysokiej wydajności, jakości odkuwek oraz jak najmniejszego zużycia materiału wyjściowego, przedkuwki przeznaczone do wykonania odkuwek matrycowych powinny mieć kształt jak najbardziej zbliżony do zarysu odkuwki w płaszczyźnie podziału, a poszczególne pola powierzchni przekrojów

poprzecznych przedkuwki powinny być równe sumie odpowiednich pól powierzchni przekrojów odkuwki i wypłytki. Za idealną przedkuwkę lub idealną odkuwkę wstępną uważa się bryłę obrotową mającą pola przekrojów poprzecznych równe sumie odpowiednich pól odkuwki i wypłytki. Na podstawie idealnej przedkuwki opracowuje się proces technologiczny (dobiera się rodzaj i liczbę zabiegów), określa wymiary materiału wyjściowego i projektuje wykroje pomocnicze.

Tok postępowania przy konstruowaniu idealnej odkuwki wstępnej z osią wzdłużną jest następujący [2]. Najpierw kreśli się rysunek odkuwki oraz wprowadza układ współrzędnych o osiach l i d (rys. 1 i rys. 2). Następnie określa się charakterystyczne wielkości odkuwki: obwód O w płaszczyźnie rzutu (płaszczyzna prostopadła do kierunku uderzenia młota), pole S zarysu odkuwki w płaszczyźnie rzutu i objętość V_{od} odkuwki. W kolejnych krokach wyznacza się wielkości wypłytki: grubość h, objętość V_r , pole przekroju rowka na wypływkę S_r oraz charakterystyczne przekroje S_n odkuwki, w których następuje zmiana jej kształtu (rys. 1). Przekroje idealnej przedkuwki S_{ip} wyznacza się według wzorów:

– dla przekrojów środkowych:

$$S_{ip} = S_n + 2\varphi \cdot S_r \quad (1)$$

gdzie φ - stopień wypełnienia rowka na wypływkę, przyjmuje się równą 0,7;

– dla przekrojów skrajnych:

$$S_{ip} = 2S_r \quad (2)$$

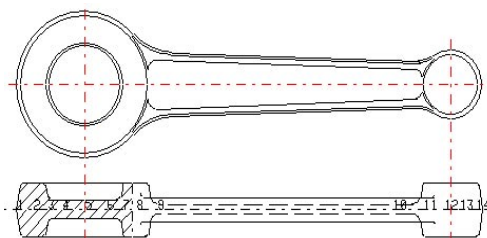
Średnice idealnej przedkuwki d_{ip} wyznacza się według wzorów:

$$d_{ip} = 1,13\sqrt{S_{ip}} \quad (3)$$

Obliczone średnice d_{ip} odkłada się symetrycznie względem osi l na osi d przyjętego układu współrzędnych. Linia powstała przez połączenie końców średnic d_{ip} (rys. 2) jest zarysem idealnej przedkuwki.

Linie wklęsłe idealnej przedkuwki b zamienia się na linie wypukłe a, zachowując przy tym równość objętości:

$$V_1 + V_2 = V_3 \quad (4)$$



Rys.1. Odkuwka z przekrojami charakterystycznymi oznaczonymi cyframi [2]

Fig.1. Performs with characteristic sections appointed figures [2]

gdzie: V_1, V_3 – objętość nad linią a, V_2 – objętość pod linią a,

Średni przekrój S_{sr} idealnej przedkuwki oblicza się ze wzoru:

$$S_r = \frac{V_{ip}}{l_{ip}} \quad (5)$$

przy czym:

$$V_{ip} = V_{od} + V_r \quad (6)$$

gdzie: V_{ip} – objętość idealnej przedkuwki, l_{ip} – długość idealnej przedkuwki równa długości odkuwki.

Średnią średnicę idealnej przedkuwki d_{sr} oblicza się ze wzoru:

$$d_{sr} = 1,13\sqrt{S_r} \quad (7)$$

W celu skorygowania wyników uzyskanych za pomocą wzorów (1, 2, 3) sporządza się, w sposób analogiczny jak dla odkuwki, wykres przekrojów idealnej przedkuwki (rys. 3). Po splanimetrowaniu pola tego wykresu sprawdza się objętość idealnej przedkuwki według wzorów:

$$V_{ip} = P \cdot A \quad (8)$$

gdzie: P – podziałka, A – splanimetrowane pole wykresu przekrojów idealnej przedkuwki.

Średni przekrój określony jest wzorem:

$$S_r = f_{sr} \cdot P \quad (9)$$

gdzie: f_{sr} – wysokość średniego przekroju; przy czym:

$$f_{sr} = \frac{A}{l_{ip}} \quad (10)$$

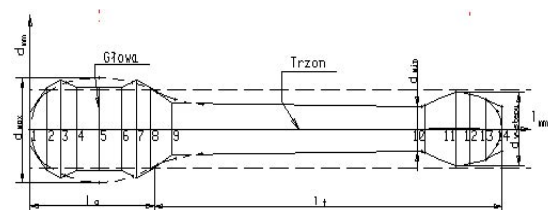
stad:

$$S_{sr} = \frac{AP}{l_{ip}} \quad (11)$$

średnicę średniego przekroju obliczamy następująco:

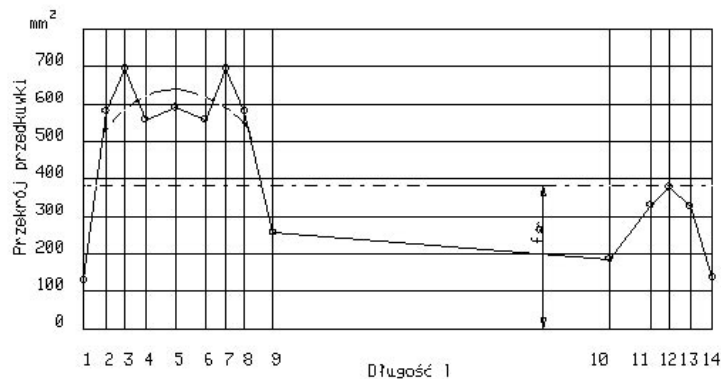
$$d_{sr} = 1,13\sqrt{A_{sr}} = 1,3\sqrt{f_{sr}P} \quad (12)$$

Średni przekrój dzieli idealną przedkuwkę na dwie części: trzon i głowę (rys.3). Do trzona należą wszystkie przekroje mniejsze od d_{sr} , do głowy zaś większe od d_{sr} .



Rys.2. Wykres idealnej przedkuwki [2]

Fig.2. Graph ideal performs [2]



Rys.3. Wykres pól przekrojów idealnej przedkuwki [2]

Fig.3. The graph of sections ideal performs [2]

3. Metoda objętościowa

Metoda planimetryczna wykorzystuje płaskie rysunki oduwek. Przekroje elementów wstępnie dzieli się i przybliża prostokątami. Objętość bryły oblicza się jako sumę elementarnych walców powstałych na podstawie przeprowadzonego podziału.

W pracy, dla zwiększenia dokładności, zaproponowano zbudowanie modelu bryłowego przedkuwki w systemie CAD 3D i na jego podstawie wygenerowanie n elementarnych modeli bryłowych. Po ich wygenerowaniu na nich wykonywane są odpowiednie obliczenia i analizy, analogicznie jak w metodzie planimetrycznej.

Zaproponowaną metodę nazwano objętościową. Jest ona bardziej skomplikowana ale daje się oprogramować. Do tego celu użyteczne są współczesne systemy CAD 3D. Wykonywanie w systemie CAD pojedynczych modeli bryłowych przekrojów powstałych z podziału przedkuwki było by zadaniem pracochłonnym, stąd też zaproponowano napisanie własnej aplikacji wykonującej te elementarne modele bryłowe w sposób zautomatyzowany.

3.1. Algorytm komputerowy

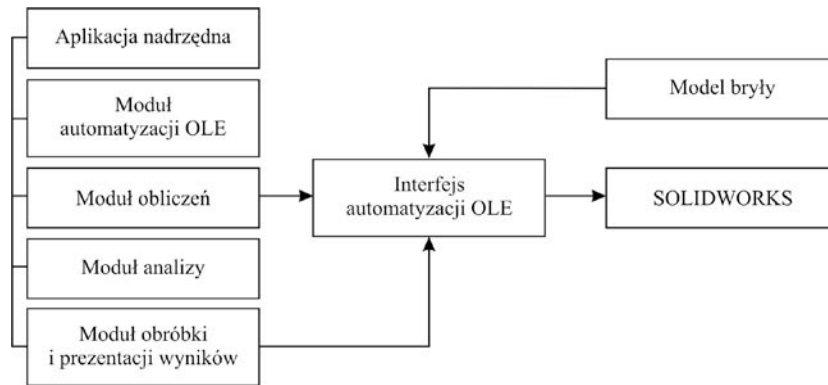
Schemat ideowy opracowanego programu do modelowania przedkuwek pokazano na rys. 4. Program ten zbudowany jest z czterech podstawowych modułów: modułu obsługi interfejsu automatyzacji OLE programu SolidWorks, modułu obliczeniowego, modułu analizy oraz modułu obróbki i prezentacji wyników. Moduł obsługi interfejsu automatyzacji OLE ma za zadanie nawiązanie połączenia z programem SolidWorks i wykonywanie ciągu poleceń przekazywanych przez aplikację nadrzędną. Moduł obliczeniowy realizuje obliczenia: promieni przedkuwki, dobór rowka na wypływkę, wyznaczenie objętości całkowitej, wyliczenie wymiarów materiału wyjściowego. Moduł analizy umożliwia zmiany promienia wybra-

nego elementu, wygładzanie konturu, interaktywne zmiany wszystkich parametrów przedkuwki. Danymi wejściowymi dla modułu obróbki i prezentacji wyników są: tablica objętości elementów wraz z ich promieniami, objętość całkowita oraz wymiary materiału wyjściowego. Na podstawie tej tablicy wyznaczane są wartości następujących parametrów: maksymalnego i minimalnego promienia przedkuwki oraz długość trzonu. Następnie wyliczane są wartości wskaźników a, b, k. Wyznaczone parametry przesyłane są również do programu SolidWorks w celu wygenerowania modelu bryłowego materiału wyjściowego. W module tym obliczany jest również błąd względny nadwyżki objętości.

Napisana aplikacja, przy wykorzystaniu interfejsu automatyzacji OLE, wykonuje w programie SolidWorks, zastępczy model przedkuwki składający się ze skończonej liczby bryłowych modeli elementarnych o długości dx. Suma objętości tych modeli pozwala obliczyć wymiary i kształt przedkuwki. Po wykonaniu każdego modelu elementu program SolidWorks zwraca do aplikacji jego numer i objętość. Na podstawie przekazanych informacji obliczane są dane o zastępczej bryle w postaci walca, to jest dla dx długości przedkuwki obliczany jest elementarny promień r_i . Cykl ten jest powtarzany aż do przejścia całej przedkuwki.

3.2. Przykład modelowania przedkuwki z osią wydłużoną

Modelowanie przedkuwki z wykorzystaniem SolidWorks zostanie przedstawione na przykładzie korbowodu. W pierwszej kolejności wykonano w programie SolidWorks model bryłowy (rys. 5). Następnie uruchomiono program Przedkuwki, który wykorzystując model bryłowy z rys. 5 zbudował model zastępczy składający się z x elementów (rys. 6) o objętościach dV_i . Na rys. 6 pokazano podział przedkuwki na 9 elementów. Od ilości tych elementów zależy dokład-



Rys.4. Schemat ideowy programu do modelowania przedkuwek

Fig.4. The ideological pattern of programme to modelling the performs



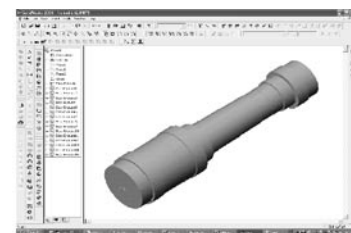
Rys.5. Odkuwka korbowodu

Fig.5. Connecting rod



Rys.6. Element zastępczy

Fig.6. Supplementary element



Rys.7. Bryła zbudowana na podstawie wykresu promieni

Fig.7. Built on graph of rays clod

ność metody, zatem dla określonej dokładności należy przyjąć odpowiednią ilość elementów. Po zbudowaniu modelu składającego się z wielu elementów poszczególne elementy zastąpiono walcami o równoważnych objętościach i wykonano wykres promieni, w funkcji długości bryły któremu odpowiada bryła pokazana na rys. 7.

Na rys. 8 oraz w tab. 1 pokazano wpływ ilości elementów na błąd względny objętości. Zwiększenie liczby elementów zdecydowanie zmniejsza błąd, jednakże zwiększa się czas obliczeń; niemniej jednak nie są to zbyt długie czasy obliczeniowe.

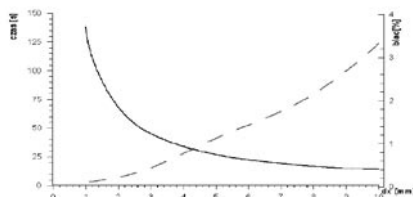
Na podstawie wstępnych obliczeń zdecydowano się zwiększyć ilość elementów z 9 do 260, w ten sposób względny błąd objętości zmniejszył się do 0,11%, co w tym przypadku jest wystarczające. Następnie obliczono parametry a, b, k dotyczące procesu kucia

i przeprowadzono obróbkę uzyskanych danych. Zarys bryły wygładzono przez aproksymację krzywymi trzeciego rzędu, co pokazuje rys. 9. Przy przeprowadzaniu aproksymacji kontrolowano względny błąd objętości.

Po wygenerowaniu zarysu bryły dane zostały przesłane do programu SolidWorks, w którym model przedkuwki został wygenerowany automatycznie. Na rys. 10 pokazano okno programu SolidWorks z wygenerowanym modelem bryłowym przedkuwki. Model ten może być wykorzystany do wykonania rysunku technicznego lub też wygenerowania odpowiedniego kodu numerycznego na obrabiarkę. W podobny sposób można wygenerować model bryłowy dla innych przedkuwek z osią wydłużoną.

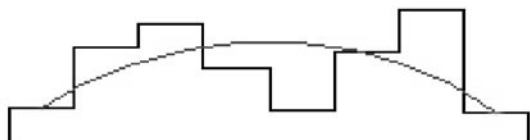
Tab. 1. Błąd względny przy generowaniu modelu przedkuwki

dx [mm]	Czas obliczeń [s]	Błąd [%]	Ilość części o długości d
10	14	3,34	26
7,5	18	1,94	35
5	27	1,13	52
2,5	54	0,32	104
1	138	0,11	260



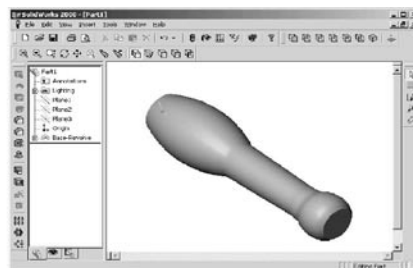
Rys.8. Wykres błędu i czasu obliczeniowego uzależnione od dx

Fig.8. The graph of mistake and time computational dependent on from dx



Rys.9 Wygładzanie konturu

Fig.9 Polishing contour



Rys. 10. Okno programu SOLIDWORKS z wygenerowanym modelem bryłowym przedkrywki

Fig. 10. The window of programme SOLIDWORKS from generated lump model the performs

4. Podsumowanie

Projektowanie procesu wykonywania odkuwek jest zadaniem złożonym, wymaga prowadzenia odpowiednich obliczeń i określania nowej geometrii na każdym etapie kucia. Prace te należą do uciążliwych, proces ich projektowania jest szczegółowo opisany w [1]. Podjęto zadanie ich automatyzacji przy zastosowaniu technik informatycznych i wiedzy literaturowej. Do zapisu konstrukcji przedkrywki zastosowano program SolidWorks, w którym wykonano parametryczne modele bryłowe. Na każdym etapie procesu projektowania kształt modelowanej bryły zmieniany jest w sposób automatyczny. Zaproponowano auto-

matyczny podział modelu bryłowego przedkrywki na małe skończone elementy (plastry) przy wykorzystaniu systemu CAD. Do obliczeń naddatków napisano program obliczeniowy, który korzysta z wiedzy znanej z teorii plastyczności. Zagadnienie generowania brył elementarnych zrealizowano wykorzystując programistyczny interfejs automatyzacji programu SolidWorks. Całością procesu projektowania nadzoruje program napisany w środowisku Delphi. Zauważono, że zastosowanie metody objętościowej w miejsce opisanej w literaturze planimetrycznej znacznie zwiększa dokładność uzyskanej przedkrywki. Opracowane oprogramowanie pozwala także znacznie skrócić czas potrzebny na wykonanie projektu.

5. Literatura

- [1] Wasiunyk P.: *Teoria procesów kucia i prasowania*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa 1991.
- [2] Wasiunyk P.: *Kucie matrycowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa 1975.
- [3] Reisdorph K.: *Delphi 4 dla każdego*, Wydawnictwo Helion 1999.
- [4] Pomoc programu Solid Works 2000

Mgr. inż. Jerzy TURCHAN

Politechnika Krakowska

Wydział Mechaniczny

Instytut Informatyki Stosowanej

Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków

e-mail: turo@wp.pl