MECHANIKA
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
4-M/2011
ZESZYT 7
ROK 108
ISSUE 7
YEAR 108

MARCIN HOJNY, MIROSŁAW GŁOWACKI, ANDRZEJ OPALIŃSKI,
DAWID WOŹNIAK*

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA TECHNOLOGII PROCESU TŁOCZENIA Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU ETA/DYNAFORM 5.8

COMPUTER AIDED DESIGN OF STAMPING PROCESS TECHNOLOGY USING THE ETA/DYNAFORM 5.8 SYSTEM

Streszczenie

W artykule zaprezentowano przykładowe wyniki symulacji komputerowych wspomagających uruchomienie produkcji nowego asortymentu wanien serii 1600. Projekt oraz weryfikację narzędzi do tłoczenia przeprowadzono z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Trudności napotkane podczas symulacji procesu tłoczenia to występowanie zarówno zjawiska pofałdowania, jak też i pękania wytłoczki. Efektem końcowym było zastosowanie efektywnego progu ciągowego w modelu MES, gdzie na podstawie symulacji komputerowych zaproponowano wstępne położenie progów ciągowych. Pozwoliło to na wyeliminowanie niepożądanych efektów pękania i pofałdowania w końcowym wyrobie.

Słowa kluczowe: *efektywny próg ciągowy, głębokie tłoczenie, wanna, siła hamowania*

Abstract

The paper presents example results of finite element analysis leading to starting up of a new bathtubs range production (1600 series). The design and verification of die for the stamping was performed using FEM. The difficulty encountered in the stamping process is the occurrence of both fracture and wrinkling. At the end the equivalent drawbead model was applied into finite elements model. An proposed drawbead distribution was determined, according to the finite element analysis, to avoid the formation of both fracture and wrinkles.

Keywords: *equivalent drawbead, deep drawing, bathtub, restraining force*

* Dr inż. Marcin Hojny, prof. dr hab. inż. Mirosław Głowacki, mgr inż. Andrzej Opaliński, inż. Dawid Woźniak, Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

Ostatnie lata przyniosły wiele zmian w technologii tłoczenia metali. Główne z nich to wprowadzenie nowych technik kształtowania elementów blaszanych (np. kształtowanie ciśnieniem cieczy) czy też rozwój zaawansowanych technik komputerowych przy projektowaniu procesów tłoczenia. Obecnie najpopularniejszą techniką komputerową jest komputerowe wspomaganie prac inżynierskich (tzw. systemy CAE). Głównym celem systemów CAE jest obniżenie ogólnych kosztów dzięki zastosowaniu szybkich i dokładnych symulacji komputerowych. Co więcej, systemy CAE pozwalają inżynierom na symulacje i analizę właściwości produktu nie tylko na etapie projektowania i rozwoju, ale również podczas produkcji, dzięki czemu uzyskiwane wyniki aktualizowane są na bieżąco. Otrzymane informacje są podstawą udoskonalania oraz optymalizacji procesu wytwarzania. W procesach kształtowania metali symulacje komputerowe mogą być zastosowane w różnym celu, na przykład do przewidywania płynięcia metalu, analizy rozkładu naprężeń, odkształceń czy temperatur, prognozowania potencjalnych miejsc wad i uszkodzeń, a także do ograniczenia kosztów wytwarzania. W dzisiejszych czasach symulacje MES są częścią cyklu produkcyjnego integrującego etapy projektowania produktu, jak też i procesu wytwarzania. Szczególnie istotne jest zastosowanie symulacji w fazie projektowania wyrobu. Decyzje podjęte na etapie projektowania znacząco decydują o całkowitych kosztach wytwarzania. Na rynku jest wiele komercyjnych pakietów do symulacji kształtowania blach. Ostatnio coraz szerzej stosowane są pakiety dedykowane procesom kształtowania metali. W prezentowanej pracy wykorzystano system eta/DYNAFORM 5.8 oraz jego solver LS-DYNA. Opracowany przez firmę Engineering Technology Associates system eta/DYNAFORM zawiera dedykowane moduły do projektowania narzędzi (DFE – Die Face Engineering), optymalizacji kształtu wykrojki (BSE – Blank Size Engineering), analizy narzędzi (DSA – Die Structrual Analysis), kompensacji efektu sprężynowania (SCP – Springback Compensation Process) oraz moduł symulacji całych linii technologicznych (LDS – Line Die Simulation) [1].

W celu przedstawienia oczekiwanej roli symulacji MES, w artykule rozważono analizę projektu narzędzi użytych do produkcji wanny typu 1600. Wanna jest tłoczona z blachy w gatunku DC06 o grubości 1,6 mm. Głównym celem projektu było opracowanie technologii tłoczenia wanny, a także uniknięcie defektów (pękanie, pofałdowanie). Poprawny kształt narzędzi zależy od dokładnego określenia przebiegu płynięcia metalu podczas samego procesu kształtowania, ale z drugiej strony zależy także od doświadczenia i umiejętności projektowania procesu tłoczenia wanny przez inżynierów i technologów.

Właściwości mechaniczne (dane z atestu dostawcy blachy) materiału użytego w symulacjach były następujące:

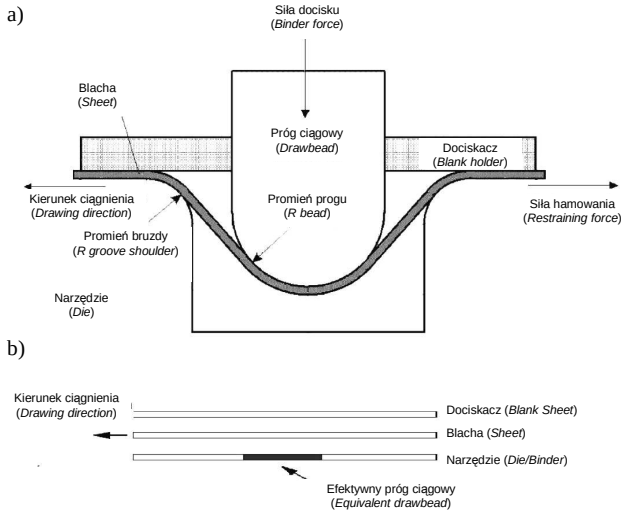
- granica plastyczności: 144 MPa,
- wytrzymałość na rozciąganie: 300 MPa,
- współczynnik umocnienia n = 0,243,
- uśredniony współczynnik anizotropii r = 2,19.

Inne parametry procesu: siła nacisku dociskacza oraz rozkład i siły hamowania progów ciągowych, były przyjmowane zależnie od warunków prowadzenia symulacji procesu tłoczenia oraz na podstawie analizy poprzedzających symulacji. Celem wyeliminowania pofałdowania bez osiągnięcia efektu pękania wytłoczki, przeanalizowano wpływ siły docisku oraz rozmieszczenia progów ciągowych, a zwłaszcza siły hamowania.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

2. Geometryczny i efektywny model progu ciągowego

Podczas procesu tłoczenia blacha przeciągana jest przez próg ciągowy. Dlatego w celu jak najlepszego odzwierciedlenia efektu przechodzenia blachy przez próg ciągowy, powinien on być modelowany dużą ilością małych elementów. Celem skrócenia czasu obliczeń w symulacjach metodą elementów skończonych użyto modelu efektywnego progu ciągowego. Efektywny próg ciągowy prezentowany jest przez linię leżącą na powierzchni dociskacza z określoną wartością siły oporu, która następnie rozkładana jest na węzły elementów skończonych. Na rysunku 1 przedstawiono geometryczny próg ciągowy i odpowiadający mu efektywny model.



Rys. 1. Modele progów ciągowych (przekrój poprzeczny): a) geometryczny, b) efektywny [2]
Fig. 1. Drawbead models (cross section): a) geometrical, b) equivalent [2]

3. Model MES oraz wyniki symulacji

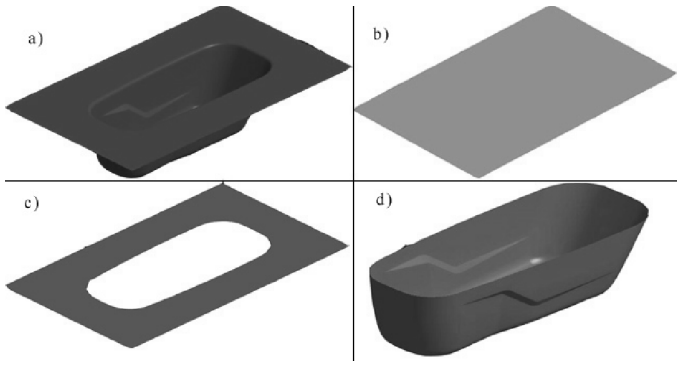
Narzędzia do symulacji procesu tłoczenia wanny typu 1600 przedstawiono na rysunku 2. Model MES narzędzi został przygotowany z użyciem modułu do projektowania narzędzi (DFE – Die Face Engineering) będącego modułem składowym systemu eta/DYNAFORM. W modelu obliczeniowym narzędzia traktowane były jako sztywne. Stan kontaktu zachodzącego podczas tłoczenia wanny był identyfikowany odpowiednimi algorytmami zakodowanymi w programie eta/DYNAFORM.

We wstępnym projekcie przyjęto siłę nacisku dociskacza równą 1500 kN. Współczynnik tarcia wynosił 0,125 dla wszystkich przeprowadzonych symulacji. Na rysunku 3 przedstawiono końcowy kształt dla przyjętych parametrów.

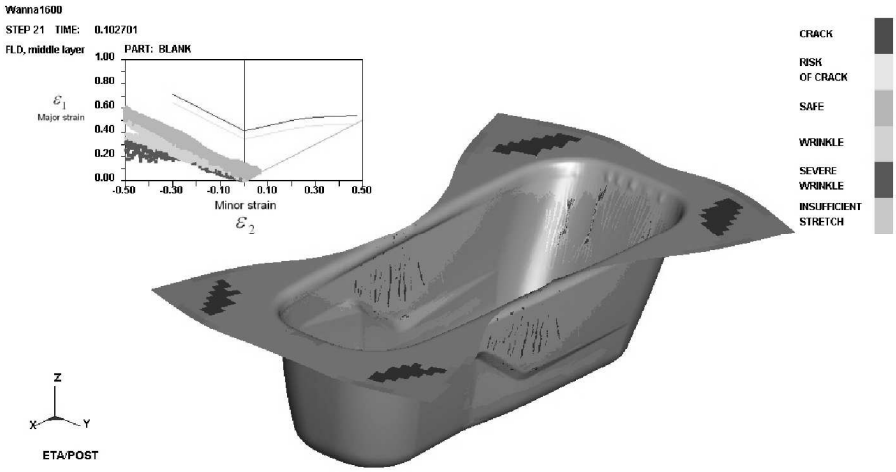
Jak można zaobserwować, płynięcie metalu występuje w części środkowej kołnierza, co doprowadziło do stosunkowo małej jego szerokości. Otrzymana wytłoczka jest wolna

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

od pęknięć i przerwań w strukturze materiału. Ponadto na bocznej części wystąpiło zjawisko pofałdowania, które jest nie do przyjęcia w modelu wyrobu gotowego. Zjawisko pofałdowania może zostać skorygowane przez zwiększenie siły nacisku dociskacza. Dlatego w kolejnej symulacji jego wartość została zwiększona do 3000 kN.



Rys. 2. Elementy badanego modelu dla wanny typu 1600:a) matryca, b) wykrojka, c) dociskacz, d) stempel
Fig. 2. Elements of the model for bathtub 1600: a) die, b) blank, c) binder, d) punch

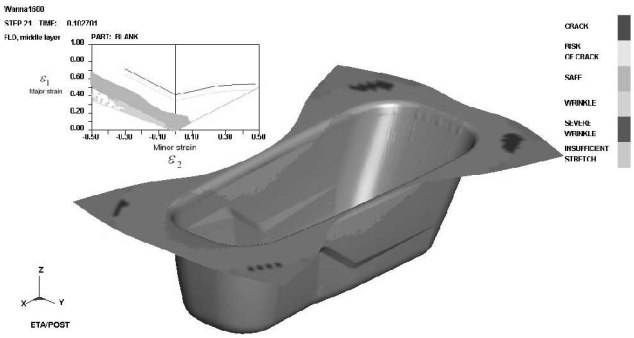


Rys. 3. Końcowy kształt wanny 1600 oraz rozkład odkształceń głównych na tle Granicznej Krzywej Tłoczenia (GKT) dla nacisku dociskacza 1500 kN
Fig. 3. Final shape of a bathtub 1600 and the minor and major strain and Forming Limit Diagram (FLD) for blank holder pressure 1500 kN

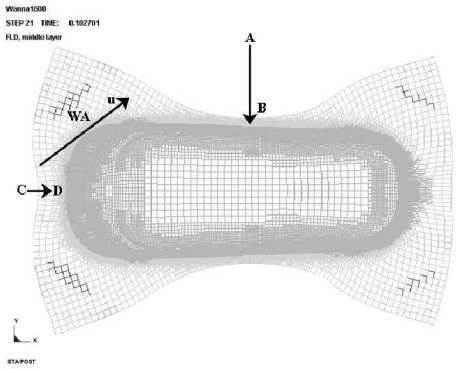
Analiza odkształceń głównych wyznaczonych na tle krzywej odkształceń granicznych, przedstawionych na rysunku 4, wskazuje, że wytłoczka jest wolna od pęknięć, a ilość pofałdowań znacznie się zmniejszyła. Dwukrotne zwiększenie siły nacisku dociskacza znacznie poprawiło końcowy kształt tłoczonej wanny. Jednak uzyskany efekt nie jest jeszcze zadowalający i nie może zostać przyjęty ze względu na wady występujące w wytłoczce. Powstawanie efektu pofałdowania wynika ze znaczącego płynięcia metalu

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

w tym obszarze. Jedną z najskuteczniejszych metod ograniczenia płynięcia jest dodanie progów ciągowych. Jednakże wyznaczenie optymalnej geometrii oraz położenia progów ciągowych wymaga kompleksowej analizy płynięcia metalu podczas operacji tłoczenia [2-4]. Analiza siatki MES dla początkowych i pośrednich kroków przedstawiona na rysunku 5 pokazuje, że metal jest ciągniony do wykroju matrycy z punktu C do punktu D na krótkim kołnierzu, z punktu A do punktu B na długim kołnierzu, oraz obszar o mocniejszym pofałdowaniu (WA) wynikający z płynięcia metalu w kierunku *u*. Dlatego też próg ciągowy musi zostać dodany prostopadle do linii A-B oraz C-D w celu powstrzymania i przede wszystkim lepszej kontroli płynięcia metalu.



Rys. 4. Końcowy kształt wanny 1600 oraz rozkład odkształceń głównych na tle Granicznej Krzywej Tłoczenia (GKT) dla nacisku dociskacza 3000 kN
Fig. 4. Final shape of a bathtub 1600 and the minor and major strain and Forming Limit Diagram (FLD) for blank holder pressure 3000 kN



Rys. 5. Schemat płynięcia metalu podczas symulacji procesu tłoczenia
Fig. 5. Scheme of metal flow during stamping process simulation

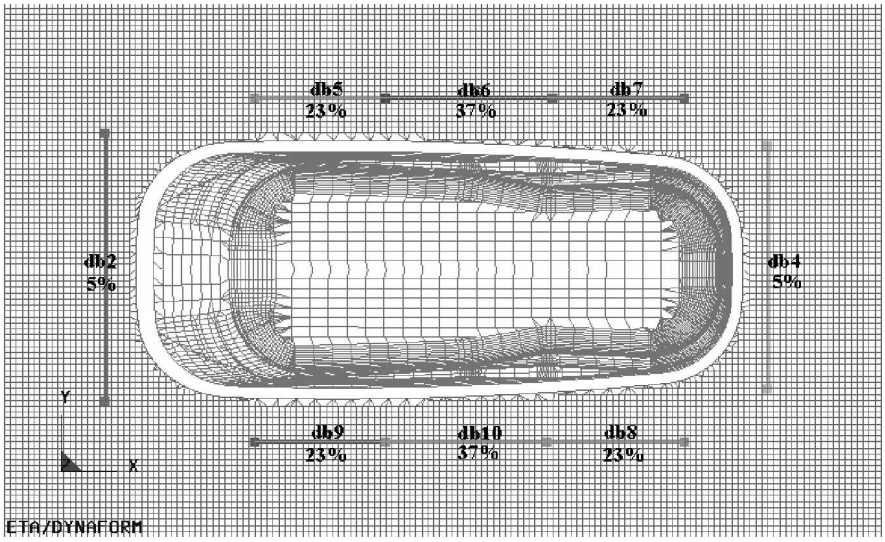
Na podstawie obserwacji płynięcia metalu przedstawionego na rysunku 5, zaproponowano osiem progów ciągowych oznaczonych jako db2, db4, db5, db6, db7, db8, db9, db10 w położeniu zamieszczonym na rysunku 6. Natomiast w tabeli nr 1 zamieszczone zostały długości progów ciągowych oraz odpowiadające im siły hamowania. W celu zmniejszenia płynięcia metalu podczas symulacji procesu tłoczenia, zastosowano siłę nacisku dociskacza o wartości 2750 kN.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

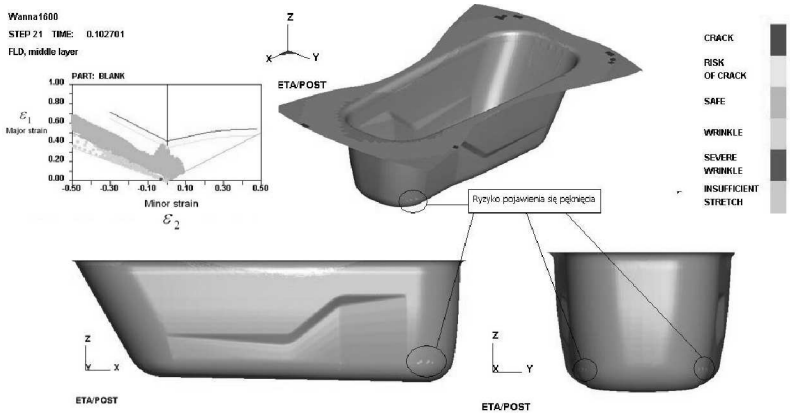
Tabela 1

Zastosowane progi ciągowe oraz odpowiadające im siły hamowania

Nazwa progu ciągowego	db2	db4	db5	db6	db7	db8	db9	db10
Długość progu ciągowego [mm]	717	653	352	432	352	352	352	432
Siła hamowania [%]	5	5	23	37	23	23	23	37
Siła hamowania [kN/mm]	0,192	0,211	1,796	2,355	1,796	1,796	1,796	2,355

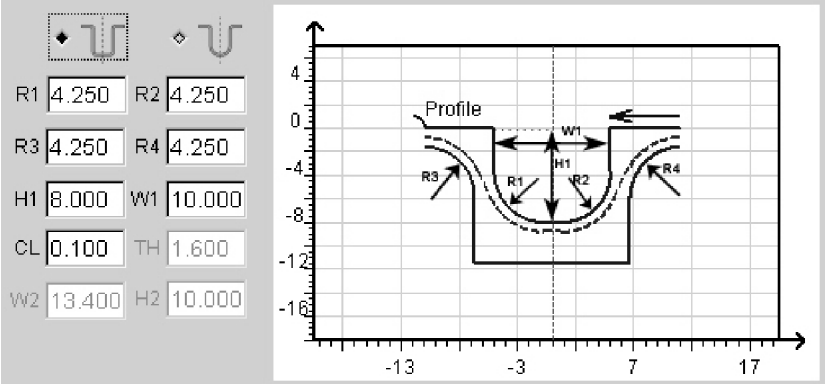


Rys. 6. Rozmieszczenie progów ciągowych dla końcowego projektu narzędzia
Fig. 6. Drawbead distribution for the final die design



Rys. 7. Końcowy kształt wanny 1600 dla zmodyfikowanego projektu narzędzi wraz z rozkładem odkształceń głównych na tle Granicznej Krzywej Tłoczenia
Fig. 7. Final shape of bathtub 1600 for the modified die design with the minor and major strain distribution and Forming Limit Diagram

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 8. Kształt i parametry geometrycznego progu ciągowego db6 – siła hamowania równa 2,344 kN/mm

Fig. 8. The shape and parameters for geometrical drawbead db6 –restraining force is equal 2,344 kN/mm

Dzięki zastosowaniu progów ciągowych zjawisko pofałdowania zostało wyeliminowane. Znacznie poprawił się także kształt końcowego wyrobu. Analizując rozkład odkształceń głównych z rysunku 7, można zauważyć, że większość punktów na Granicznej Krzywej Tłoczenia znajduje się poniżej krzywej definiującej prawdopodobieństwo pęknięcia wytłoczki. Minimalne ryzyko pojawienia się pęknięcia, które wystąpiło w symulacji dla końcowego wyrobu, można wyeliminować w różnoraki sposób, np. optymalizując rozkład progów ciągowych na powierzchni dociskacza. Na rysunku 8 przedstawiono kształt i parametry geometrycznego progu ciągowego dla siły hamowania równej 2,355 kN/mm. Geometria progu ciągowego została wyznaczona przez system Dynaform na podstawie wcześniej wyznaczonej siły hamowania, co pozwala na realizację zasymulowanego procesu.

4. Wnioski

W prezentowanym artykule projekt narzędzia opracowany został z wykorzystaniem systemu MES. W artykule zbadano wpływ zmian parametrów procesu tłoczenia, takich jak siła nacisku dociskacza oraz rozkład i siły hamowania progów ciągowych, na kształt końcowego wyrobu gotowego. Zbadano także zjawisko pofałdowania i pękania wytłoczki, opierając się na schemacie płynięcia metalu otrzymanego z symulacji komputerowych. W celu ograniczenia czasu obliczeń w modelu MES zastosowano efektywne progi ciągowe. Opracowano projekt konstrukcji narzędzi, których rozmiar, kształt i położenie rzeczywistych progów ciągowych ustalono na podstawie analizy kolejnych symulacji komputerowych.

Praca wykonana w ramach działalności statutowej AGH – umowa nr: 11.11.110.011.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Literatura

[1] Engineering Technology Associates, *eta/Dynaform 5.8 User's Manual*, 2010.
[2] Hojny M., *Uruchomienie produkcji nowego asortymentu wanien*, Cz. 1, *Analiza projektu narzędzia do tłoczenia wanny 1200*, Obróbka Plastyczna Metali, 20 (1), 2009, 39-51.
[3] Hojny M., *Uruchomienie produkcji nowego asortymentu wanien*, Cz. 2, *Symulacje metodą elementów skończonych w równoległym projektowaniu i wytwarzaniu*, Obróbka Plastyczna Metali, 20 (4), 2009, 17-27.
[4] Hojny M., *Application of an integrated CAD/CAM/CAE/IBC system in the stamping process of a bathtub 1200S*, Archives of Metallurgy and Materials, 55 (3), 2010, 713-723.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ