

Paweł KAŁDUŃSKI, Łukasz BOHDAL

## ANALIZA NUMERYCZNA ZMIANY GRUBOŚCI BLACHY WYTŁOCZKI PODCZAS PROCESU TŁOCZENIA

### *Streszczenie*

*W niniejszej pracy przedstawiono wyniki symulacji komputerowej badania zmian grubości blachy w wytłoczce podczas wybranych etapów procesu tłoczenia. Do analizy wykorzystano program Ansys Ls-Dyna. Zastosowano powłokowe elementy skończone typu Shell, w celu minimalizacji czasu obliczeń i możliwości obserwacji zmian grubości w trakcie całego procesu symulacji. Wyniki zweryfikowano z uprzednio przeprowadzonymi badaniami na elementach typu Solid.*

**Słowa kluczowe:** elementy powłokowe, wytłaczanie, analiza numeryczna, pomiar grubości.

### WSTĘP

Zmiany grubości blachy w wyrobie podczas procesu tłoczenia są nieuniknione. Wynika to z trójosiowego stanu naprężeń i odkształceń w blasze [5]. Charakterystyczne w wytłoczkach jest zmniejszenie grubości dna oraz jego przejścia w boczną ściankę i zwiększenie grubości blachy na obrzeżu. Dokładne zobrazowanie zmian grubości blachy podczas trwania procesu pozwoli uniknąć skomplikowanych obliczeń teoretycznych lub próbnych badań eksperymentalnych. Możliwe jest przeprowadzenie symulacji z wykorzystaniem elementów skończonych typu solid, które lepiej odwzorowują naprężenia i odkształcenia normalne [1, 3]. Odbywa się to jednak kosztem znacznie zwiększonego czasu obliczeń. Jest to niekorzystne w przypadku konieczności wykonania dużej liczby symulacji, lub ograniczonych możliwości jeśli chodzi o czas lub moc obliczeniową komputera. Obecnie stosowane elementy typu Shell w programie Ls-Dyna umożliwiają symulację z pełną integracją, co umożliwia także obserwację zjawisk wewnątrz blachy. Nie pozwalają natomiast na symulowanie wycinka np. ćwiartki obiektów, gdyż nie ma możliwości odebrania rotacyjnych stopni swobody na pojedynczej krawędzi obiektu.

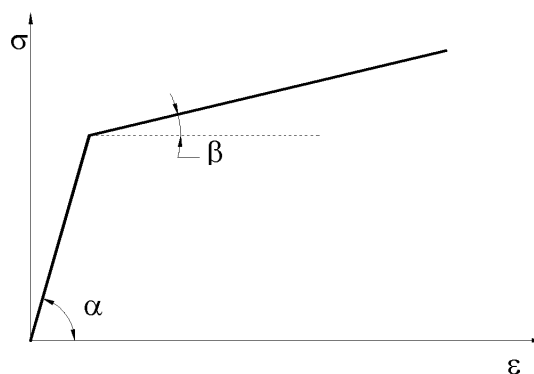
W pracy przedstawiono wyniki symulacyjne dla blachy tłocznej DC01 o grubości niewymagającej stosowania docisku. Symulację przeprowadzono na autorskiej matrycy o profilu krzywoliniowym [1]. Charakteryzuje się mniejszą wartością maksymalnej siły tłoczenia, co znacznie zmniejsza naciski kontaktowe i wydatek energetyczny maszyny. Na rysunku 1 przedstawiono geometryczny model procesu wytłaczania.



Rys. 1. Model procesu wytłaczania

## 1. DANE WEJŚCIOWE DO ANALIZY

Jako model materiałowy przyjęto materiał izotropowy o charakterystyce podwójnie liniowej. Jest to najprostszy z materiałów nieliniowych plastycznych. Czyli we wszystkich kierunkach wykazuje takie same właściwości (naprężenia, odkształcenia). Wartość odkształcenia, a zarazem naprężenia nie zależy od prędkości odkształceń. Wykorzystano tę cechę ze względu na to, że proces wytłaczania przebiega z małymi prędkościami i dynamika odkształceń ma bardzo niewielki wpływ na wyniki. Przyjęto również, że na żadne z parametrów nie ma też wpływu temperatura (proces izotermiczny). Do wymaganych parametrów dla tego modelu należą: moduł Younga, tangens umocnienia, liczba Poissona, granica plastyczności i gęstość materiału. Materiał charakteryzuje się wyraźną granicą plastyczności i liniowym umocnieniem, które opisywane jest tangensem kąta  $\beta$  nachylenia tej linii do poziomu (rys. 2). Tangens kąta  $\alpha$  przedstawia moduł Younga.



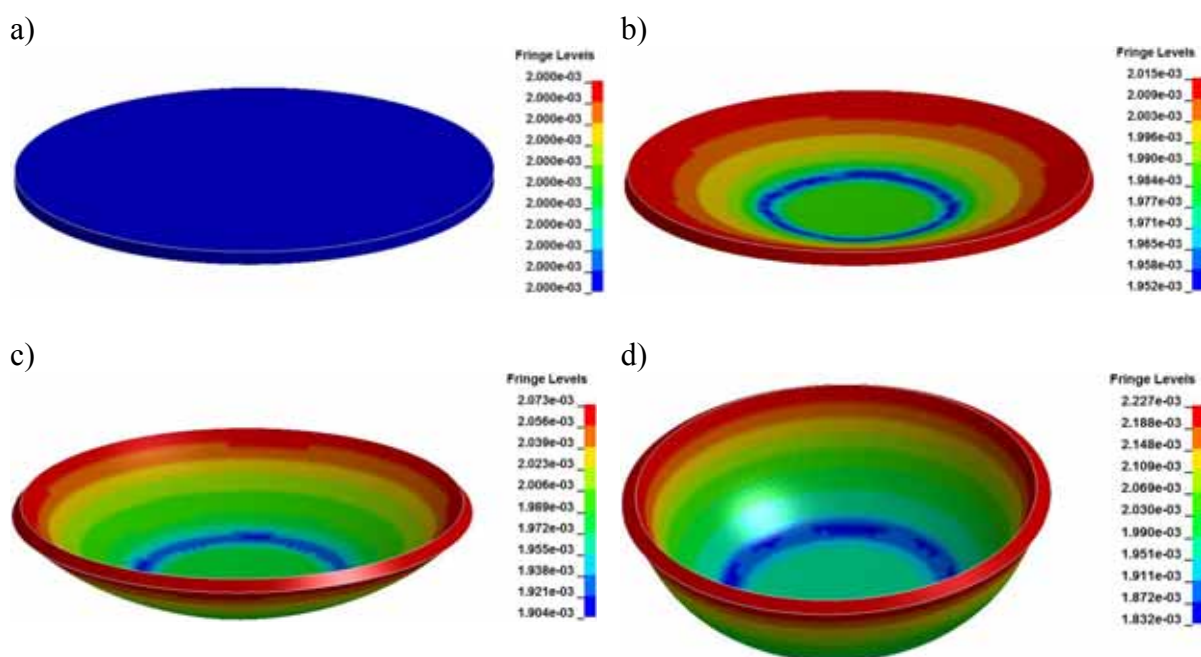
Rys. 2. Model materiałowy użyty w symulacji

Symulację procesu wytłaczania przeprowadzono dla następujących warunków technologicznych:

- $g = 2 \text{ mm}$  – grubość krążka,
- $D_0 = 70 \text{ mm}$  – średnica krążka,
- $d_m = 40 \text{ mm}$  – średnica otworu matrycy,
- $d_s = 35 \text{ mm}$  – średnica stempla,
- $r_s = 4 \text{ mm}$  – promień zaokrąglenia krawędzi stempla.

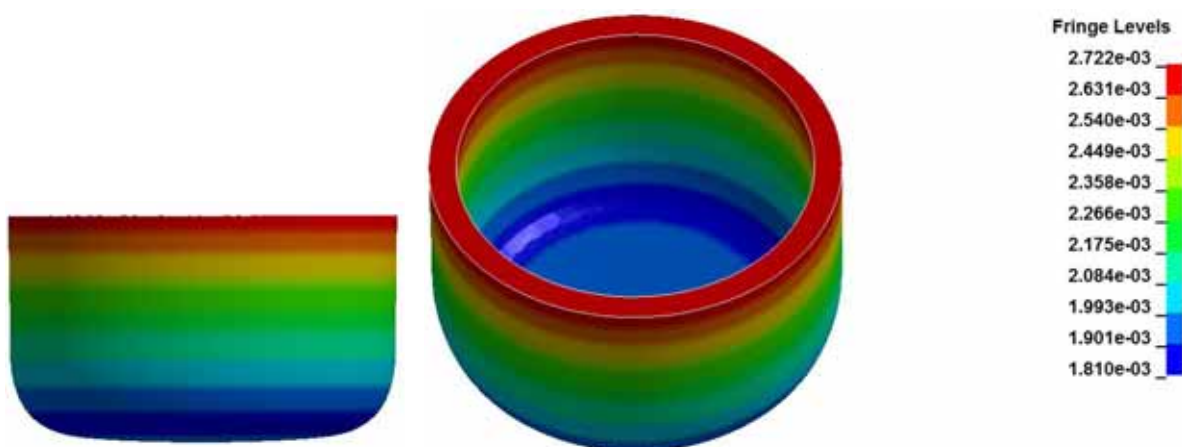
## 2. WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Na rysunku 3a przedstawiono wyjściowy krążek do tłoczenia o jednakowej grubości 2 mm. Już w początkowym etapie tłoczenia, czyli w fazie sprężysto plastycznej zachodzą minimalne zmiany grubości blachy w wytłoczce. W obszarze przejścia dna w boczną ściankę grubość blachy wynosi 1,95 mm. Z kolei na obrzeżu występuje pogrubienie do wartości 2,01 mm (rys. 3b). Na początku etapu plastycznego płynięcia w wyniku zmniejszenia średnicy obrzeża występuje dalsze zwiększanie grubości blachy do wartości 2,07 mm, na zaokrąglonej krawędzi z kolei grubość wynosi 1,90 mm. Dno wytłoczki na tym etapie nie ulega pocienieniu (rys. 3c). Na etapie formowania kołnierza wytłoczki, w wyniku obwodowych odkształceń ściskających występuje zwiększenie grubości blachy do 2,27 mm. Blacha w obszarze przejścia ścianki w dno ma grubość na tym etapie 1,83 mm.



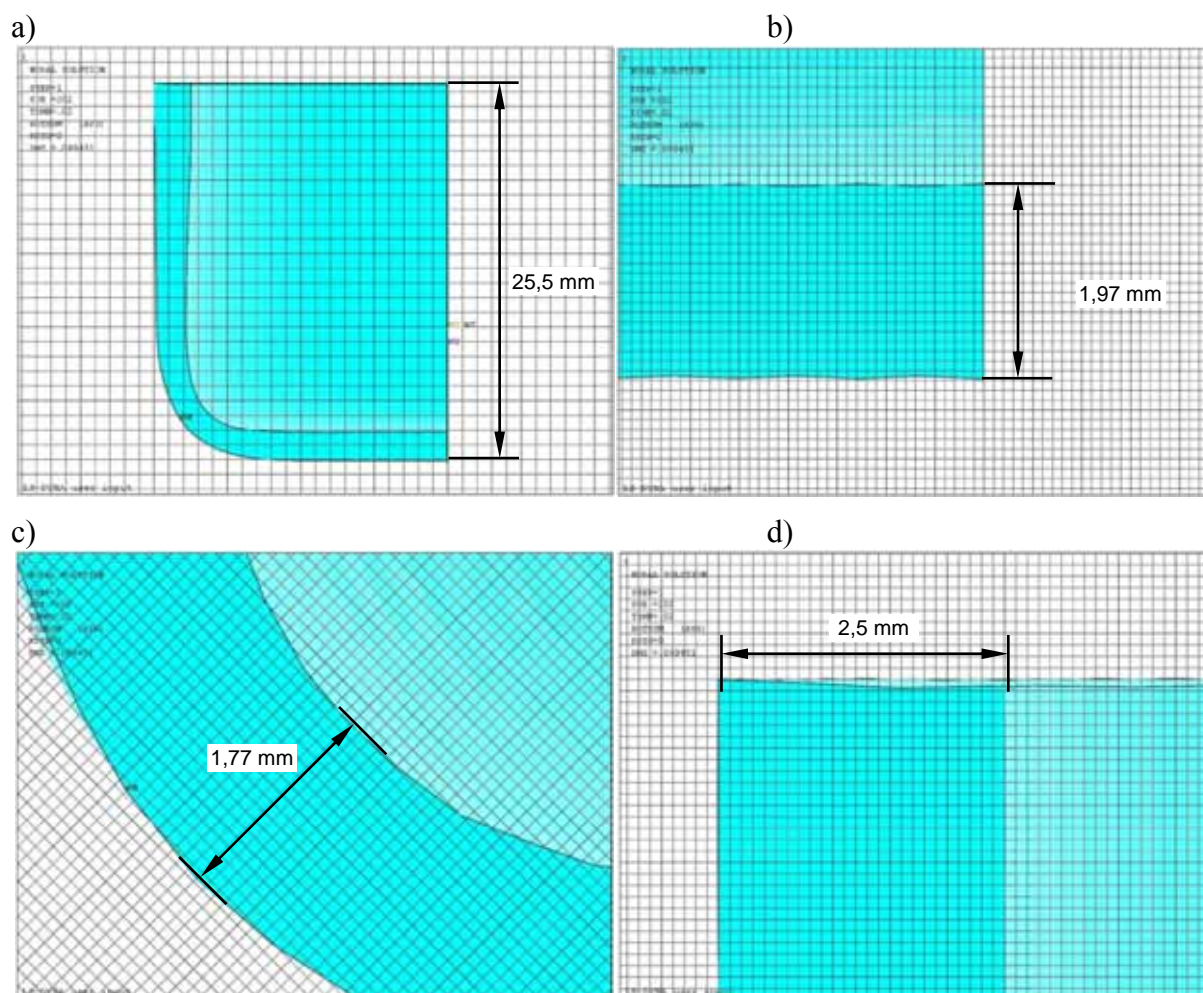
Rys. 3. Grubość blachy podczas procesu wytłaczania

Na rysunku 4 przedstawiono w dwóch różnych widokach ukształtowaną wytłoczkę. Można zaobserwować, że grubość blachy w wyrobie zmniejsza się z wartości maksymalnej 2,72 mm na obrzeżu do wartości minimalnej 1,81 mm na zaokrągleniu. W dnie wytłoczki natomiast grubość blachy wynosi 1,90 mm.



Rys. 4. Grubość blachy w gotowej wytłoczce

Na rysunkach 5a-d przedstawiono pomiary charakterystycznych wymiarów wytłoczki. Wyniki te zostały opracowane wcześniej, z użyciem elementów skończonych typu Solid [1]. Na rysunku 5a przedstawiono pomiar wysokości wytłoczki. Wysokość wyrobu była stała na całym obwodzie i wynosiła dokładnie  $d = 25$  mm. Grubość dna była prawie identyczna z grubością wyjściową blachy czyli  $g_d = 1,97$  mm (rys. 5b). Na zaokrąglonej krawędzi grubość blachy wynosiła  $g_z = 1,77$  mm (rys. 5c). Grubość blachy na obrzeżu to  $g_o = 2,5$  mm (rys. 5d).



**Rys. 5.** Grubość blachy w wytłoczce w charakterystycznych miejscach

Na obrzeżu wytłoczki różnica grubości blachy wynosiła 0,22 mm, pomiędzy wynikami stosowanych elementów typu Shell i Solid. Procentowo wynosiło to 8%. Różnica na zaokrąglonej krawędzi wynosiła znacznie mniej 0,04 mm co stanowiło 2,2% rozbieżność. W dnie różnica wynosiła natomiast 0,07 mm co stanowiło 3,6% rozbieżność.

## WNIOSKI

Z przeprowadzonej symulacji komputerowej procesu wytłaczania wynika, że w celu dokładniejszego określenia grubości blachy w poszczególnych etapach procesu korzystnie jest stosować elementy skończone powłokowe typu Shell. Przemawia za tym też czas obliczeń, który dla porównania wynosi 9 minut dla elementów typu Shell i ponad 12 godzin dla elementów typu Solid, przy przyjęciu tego samego stopnia dyskretyzacji. Nowoczesne typy elementów powłokowych pozwalają także na analizę naprężeń na kierunku normalnym do powierzchni blachy. Możliwa jest dzięki temu analiza naprężeń na grubości blachy. Dokładno-

ścią obliczeń na grubości blachy można sterować zwiększając lub zmniejszając ilość punktów integracji. Są one numerycznym odpowiednikiem eksperymentalnych punktów pomiarowych. Elementy typu Shell znacznie bardziej dokładnie odzwierciedlają zmiany grubości blachy. Zwiększona grubość blachy na obrzeżu ponad wielkość luzu, zawartą pomiędzy stemplem i matrycą, może wynikać z uwzględnienia w elementach Shell sprężystego odciążenia [4]. Może też być wynikiem niedokładnego kontaktu pomiędzy elementami skończonymi. Gdyż w trakcie procesu wytłaczania z wykorzystaniem elementów typu Solid, nie nastąpiło zwiększenie grubości blachy ponad wielkość luzu matrycowego [1, 2, 5]. W celu dokładniejszego określenia powodu tego zjawiska, należałoby przeprowadzić szereg symulacji z wykorzystaniem różnych modeli kontaktu. Dałoby to pogląd, w jakim stopniu model kontaktu i tarcie wpływa na zmiany grubości blachy w wytłoczce.

## BIBLIOGRAFIA

1. Kałduński P., *Modelowanie i symulacja kształtowania wytłoczek kołowo symetrycznych bez kołnierza z uwzględnieniem nieliniowości geometrycznej i fizycznej*. Praca doktorska, Koszalin 2009.
2. Kałduński P., Kukiełka L., *Problematyka doboru luzu między matrycą i stemplem w procesie wytłaczania w aspekcie jakości wyrobu*. Projektowanie Procesów Technologicznych, Poznań 2006.
3. Kałduński P., Kukiełka L., *Symulacja komputerowa procesu wytłaczania części samochodowych kołowo symetrycznych*. IX Słupskie Forum Motoryzacji, Słupsk 2006.
4. Kałduński P., Kukiełka L., *Wpływ luzu matrycowego na odkształcenia i naprężenia w wytłoczce po odciążeniu*. Polioptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania, Mielno 2007.
5. Marciniak Z., *Konstrukcja tłoczników*. Ośrodek Techniczny A. Marciniak, Warszawa 2002.

## NUMERICAL ANALYSIS CHANGES OF DRAWPIECE SHEET THICKNESS DURING THE DRAWING PROCESS

### *Abstract*

*This paper presents the results of computer simulation research of changes in drawpiece thickness at selected stages of the drawing process. Ansys Ls-Dyna program has been used for this analysis. Shell finite elements has been used, to minimize the computation time and for the possibility of thickness changing observation during the whole process simulation. The results were verified with previously published studies with the Solid finite elements.*

**Key words:** shell elements, drawing, numerical analysis, thickness measurement.

### *Autorzy:*

dr inż. **Paweł Kałduński** – Politechnika Koszalińska  
dr inż. **Łukasz Bohdal** – Politechnika Koszalińska