

Paweł KAŁDUŃSKI

WPLYW WIELKOŚCI LUZU MATRYCOWEGO W PROCESIE TŁOCZENIA NA KSZTAŁT WYTŁOCZKI Z UWZGLĘDNIENIEM PŁASKIEJ ANIZOTROPII

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę numeryczną i weryfikację eksperymentalną wpływu luzu pomiędzy matrycą i stemplem w procesie wytłaczania. Badania numeryczne przeprowadzono w programie Ansys/Ls-Dyna Metodą Elementów Skończonych. Wykorzystano model materiałowy uwzględniający anizotropię płaską. Wyniki uzyskane z symulacji porównano z wynikami eksperymentalnymi uzyskanymi na prasie hydraulicznej. Określono najlepszą wielkość luzu dla danego przypadku tłoczenia. Przedstawiono wybrane wyniki symulacji komputerowych.

WSTĘP

Prawidłowy dobór luzu między matrycą a stemplem w procesie wytłaczania ma kluczowe znaczenie dla grubości ścianek wytłoczki i ich wysokości. Przy zbyt dużym luzie pojawia się wada w postaci esowatego zarysu bocznych ścianek. Charakteryzuje się tym, że obrzeże wytłoczki pozostaje zakrzywione w przekroju osiowym, a zarys ścianki może przyjąć kształt zbliżony do wydłużonej litery S [5]. Natomiast przyjmowanie zbyt małego luzu mniejszego nawet od wyjściowej grubości blachy może spowodować: nadmierne zwiększenie wysokości wytłoczki, zmniejszenie grubości jej ścianek oraz urwanie dna na skutek pocienienia blachy na zaokrąglonej krawędzi wyrobu. Ponadto tłoczenie przy luzie mniejszym od grubości blachy znacząco zwiększa maksymalną siłę tłoczenia i zwiększa zużycie powierzchni roboczych, zarówno stempla jak i matrycy. Mimo tych zagrożeń niekiedy stosuje się operację nazywaną wytłaczaniem z jednoczesnym wyciąganiem. Wtedy stosuje się szczelinę o wymiarze równym wyjściowej grubości blachy lub nawet nieco mniejszym. Bardzo ważny w tym przypadku jest prawidłowy dobór warunków tłoczenia, tj. odpowiedni smar zmniejszający tarcie [2]. Zaletą takiej metody jest możliwość uzyskania w jednej operacji nieco wyższej wytłoczki. Ponadto zwiększeniu ulega dokładność wykonania zewnętrznej średnicy, zmniejszeniu ulegają naprężenia własne na obrzeżu wytłoczki, co zmniejsza niebezpieczeństwo jej pęknięcia w czasie eksploatacji. Nie występuje także stożkowatość zewnętrznej powierzchni wytłoczki [5].

1. DANE WEJŚCIOWE DO ANALIZY

W celu zbadania wpływu luzu między matrycą i stemplem na deformację ścianek wytłoczki, czyli na jej wysokość i grubość, przeprowadzone będą symulacje komputerowe dla kilku przypadków [3] [4]. Luzy będą miały wartość: $S_m = 2,00; 2,25; 2,75; 3,00; 3,25$ mm

przy czym grubość wyjściowa blachy wynosić będzie 2 mm. Dodatkowo poszukiwana będzie maksymalna wartość siły tłoczenia. Analizy numeryczne zostaną przeprowadzone na modelu anizotropowym Barlata [1]. 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,
- $r_m = 18 \text{ mm}$ – promień zaokrąglenia krawędzi matrycy,
- $r_s = 4 \text{ mm}$ – promień zaokrąglenia krawędzi stempla.

Zazwyczaj przyjmowana prawidłowa wielkość luzu w procesie wytłaczania powinna być nie mniejsza niż maksymalna grubość blachy na obrzeżu wytłoczki. Maksymalną grubość na obrzeżu wyznaczyć można z zależności [5]:

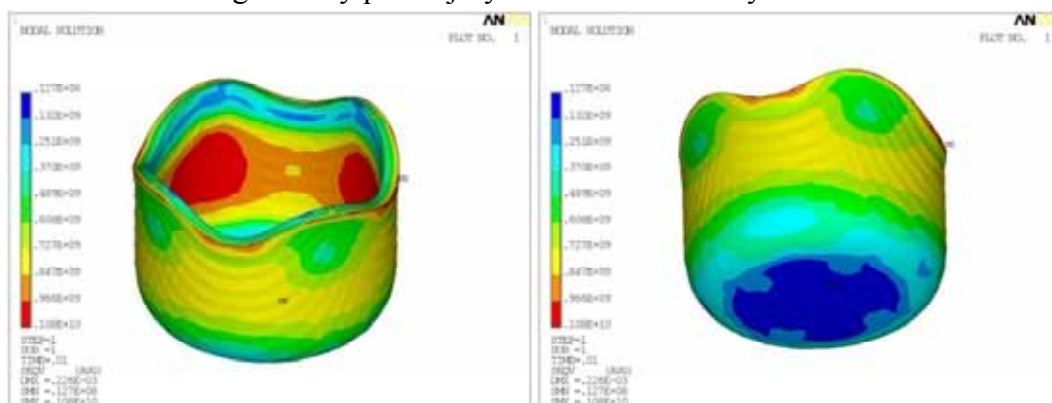
$$g_{\max} = g_0 \sqrt{\frac{D_0}{d}} = 2,646$$

Z wyliczenia wynika, że aż trzy wielkości luzów są mniejsze niż zalecana.

2. WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH I EKSPERYMENTALNYCH

Dla luzu $S_m = 2 \text{ mm}$, czyli stempla o średnicy $d_s = 36 \text{ mm}$ uzyskana wytłoczka miała silnie zdeformowany kołnierz w miejscu zagłębienia, czyli na kierunku pod kątem 45° do kierunku walcowania blachy. Wynika to z tego, że w tym miejscu występuje największe pogrubienie materiału w wyniku tłoczenia. Z powodu zastosowania szczeliny pomiędzy matrycą i stemplem równej 2 mm, czyli takiej co grubość wyjściowa blachy, materiał ulega deformacji promieniowo, gdyż nie może się przemieścić w żadnym innym kierunku. Stosowanie tak małego luzu może spowodować zakleszczenie się stempla w wytłoczce.

Dla luzu $S_m = 2,5 \text{ mm}$, czyli stempla o średnicy $d_s = 35 \text{ mm}$ kształt wytłoczki także był prawidłowy (rys. 1). Dla tego luzu przeprowadzono większość analiz numerycznych, a także badań eksperymentalnych. Rozkład naprężeń był równomierny, a maksimum nie było zlokalizowane na obrzeżu co groziłoby późniejszym uszkodzeniem wytłoczki.



Rys. 1. Rozkład naprężeń w wytłoczce dla luzu matrycowego $S_m = 2,5 \text{ mm}$

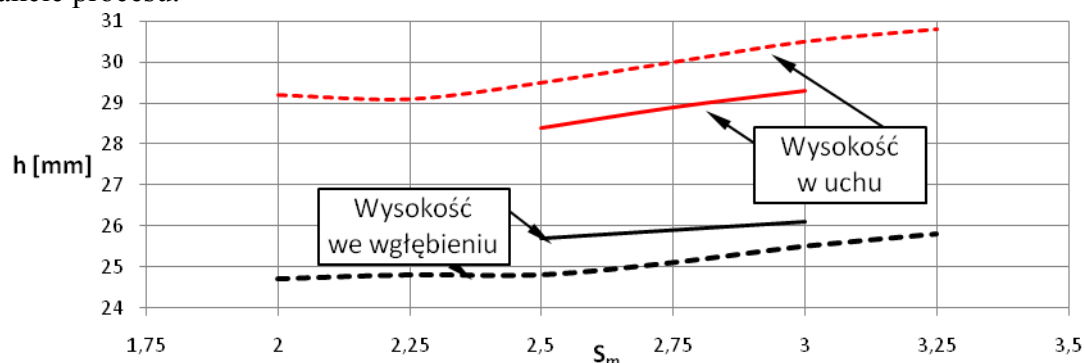
Źródło: Opracowanie własne.

Przeprowadzono częściową weryfikację wyników symulacyjnych dla różnych luzów pomiędzy matrycą i stemplem. Luzy miały wartość: $S_m = 2,50; 2,75; 3,00 \text{ mm}$ przy czym grubość wyjściowa blachy wynosiła $g_0 = 2 \text{ mm}$. Dodatkowo poszukiwana była maksymalna wartość siły tłoczenia. Badania zostały przeprowadzone dla identycznych warunków tłoczenia jak w symulacjach:

- $g = 2 \text{ mm}$ – grubość krążka,
- $D_0 = 70 \text{ mm}$ – średnica krążka,

- $d_m = 40 \text{ mm}$ – średnica otworu matrycy,
- $r_m = 18 \text{ mm}$ – promień zaokrąglenia krawędzi matrycy,
- $r_s = 4 \text{ mm}$ – promień zaokrąglenia krawędzi stempla.

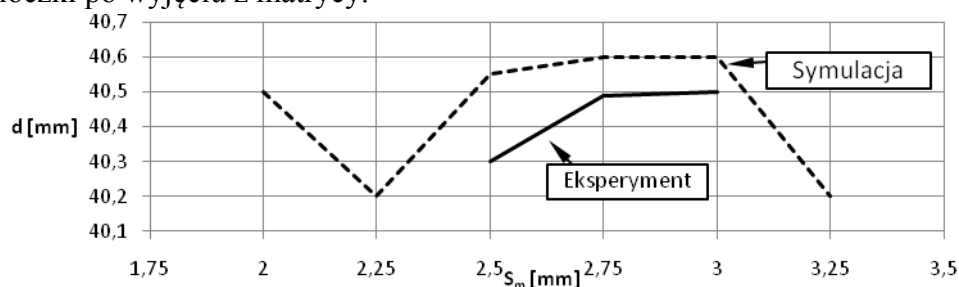
Przeprowadzono także pomiary wysokości wytłoczki na kierunku zgodnym z kierunkiem walcowania blachy i na kierunku pod kątem 45° do kierunku walcowania blachy, czyli na tym gdzie tworzą się wgłębienia w wytłoczce (rys. 2). Zaobserwowano nieznaczny wzrost wysokości, zarówno we wgłębieniu jak i na kierunku, na którym tworzą się ucha, w zależności od zwiększania się luzu. Zależność wysokości wytłoczki od luzu z eksperymentu przedstawiono za pomocą linii ciągłych natomiast wyniki symulacyjne linią przerywaną. Różnice są dla wysokości na kierunku głównym, gdzie tworzą się ucha, na plus w przypadku wyników symulacyjnych. Dla wysokości na kierunku pod kątem 45° do kierunku walcowania różnice są na minus w przypadku wyników symulacyjnych. Te nieznaczne różnice w wysokości uch i wgłębień w wytłózkach mogą być spowodowane współczynnikiem tarcia, który ma stałą wartość w symulacji. Rzeczywista wartość współczynnika tarcia bowiem ulega zmianie w trakcie procesu.



Rys. 2. Zależność wysokości wytłoczki od luzu

Źródło: Opracowanie własne.

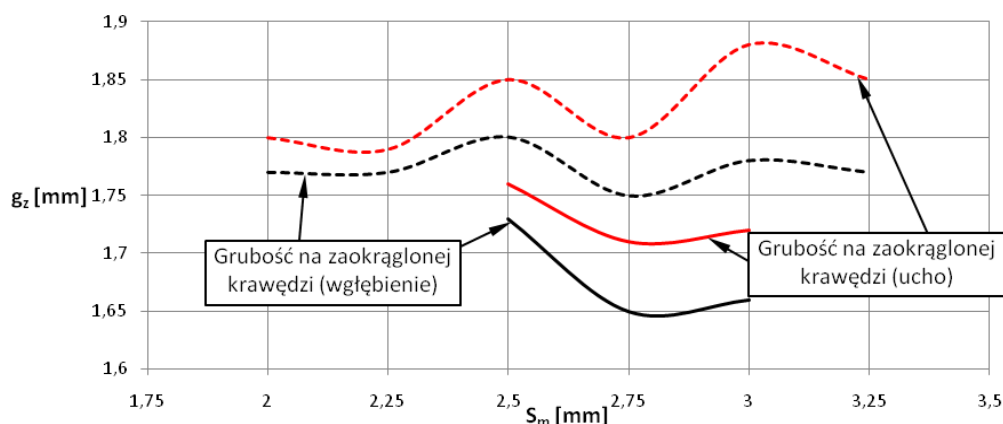
Na rysunku 3 przedstawiono wykres zależności średnicy wytłoczki po wyjęciu z matrycy od luzu. Widać wyraźnie, że przebieg jest nieliniowy z minimalną wartością dla luzu $S_m = 2,25 \text{ mm}$ i $S_m = 3,25 \text{ mm}$. Dla pierwszego przypadku tak małe zwiększenie średnicy może być spowodowane bardzo znacznym umocnieniem obrzeża w wyniku małej wielkości luzu. W przypadku drugim natomiast tak małe zwiększenie średnicy może być spowodowane tym, że nie występuje już esowaty zarys bocznej powierzchni tylko stożkowość ścianek. Wytłoczka po wyjęciu z matrycy nie zwiększa wtedy znacznie swojej średnicy. Wyniki eksperymentalne przedstawiono linią ciągłą, symulacyjne natomiast linią przerywaną. Istnieje niewielka różnica pomiędzy tymi dwiema zależnościami, maksymalnie jest to $0,25 \text{ mm}$. Charakter przebiegu wyniku eksperymentalnego jest podobny do przebiegu numerycznego. Różna wartość przyrostu średnicy wytłoczki między eksperymentem i symulacją może świadczyć o pominięciu któregoś z czynników, który ma wpływ na zwiększanie lub zmniejszanie średnicy wytłoczki po wyjęciu z matrycy.



Rys. 3. Zależność średnicy wytłoczki od luzu

Źródło: Opracowanie własne.

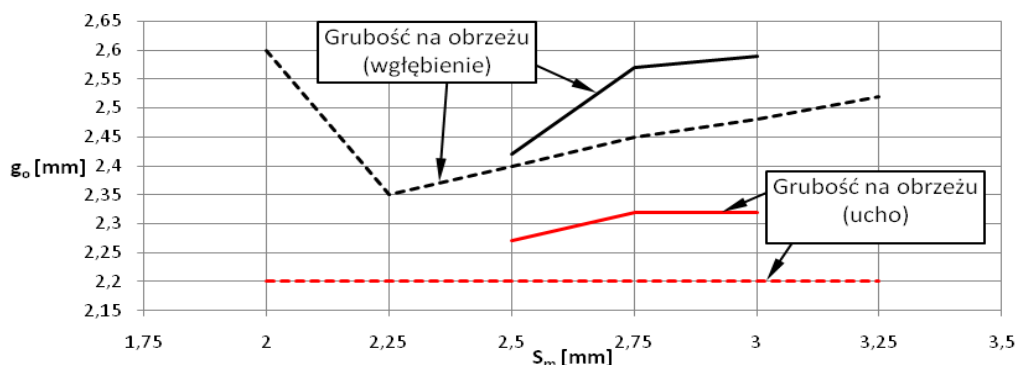
Na rysunku 4 przedstawiono wykres zależności grubości blachy na zaokrągleniu od luzu. Pomiary numeryczne przeprowadzono na kierunku głównym (ucho) i na kierunku 45° (wgłębienie). Dla luzu $S_m = 2$ mm uzyskuje się małą wartość grubości blachy na zaokrągleniu na obu kierunkach. Jest to wynikiem przeciągania kołnierza wytłoczki przez szczelinę o szerokości mniejszej niż jego grubość, powoduje to znaczne zmniejszenie grubości blachy na zaokrągleniu. Dla wielkości luzu $S_m = 2,5$ mm uzyskane grubości były nieznacznie większe. Dla wielkości luzu $S_m = 2,75$ mm odnotowano najmniejszą wartość zarówno jednej jak i drugiej grubości. Spowodowane jest to najprawdopodobniej tym, że wytłoczka traci kontakt z powierzchnią stempla i cały nacisk skupiony jest na dnie co powoduje pocienienie blachy. Z kolei dla największych luzów odnotowano wzrost grubości blachy na zaokrągleniu. W tym przypadku nie nastąpił spadek ponieważ wraz ze zmniejszaniem średnicy stempla spada siła tłoczenia co jest czynnikiem zmniejszającym pocienienie blachy na zaokrągleniu, dlatego obserwuje się taką sinusoidę. Wyniki eksperymentalne przedstawiono linią ciągłą, symulacyjne natomiast linią przerywaną. Zaobserwowano większe wartości grubości z wyników symulacyjnych zarówno na kierunku głównym jak i na kierunku 45°. Pomimo tego charakter przebiegu był podobny dla eksperymentu i dla symulacji. Różnice mogą wynikać bezpośrednio jak w poprzednich przypadkach z powodu stałej wielkości współczynnika tarcia, który ma decydujący wpływ na formowanie się wyrobu podczas procesu tłoczenia.



Rys. 4. Zależność grubości blachy na zaokrągleniu od luzu

Źródło: Opracowanie własne.

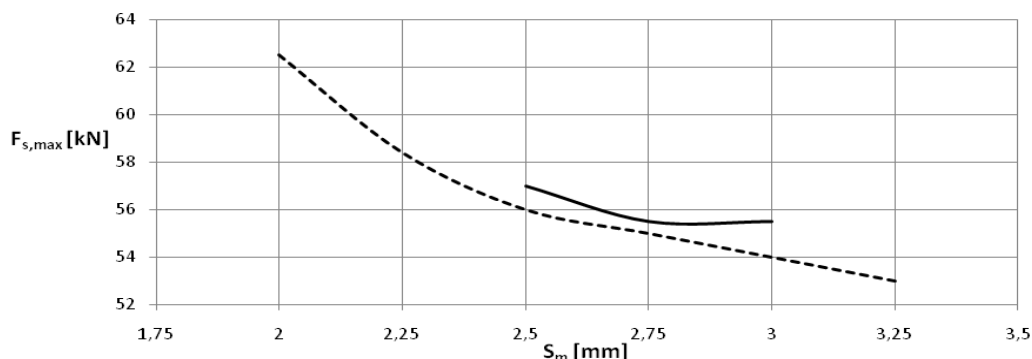
Na rysunku 5 przedstawiono zależność grubości blachy na obrzeżu dla kierunku głównego jak i kierunku pod kątem 45° do kierunku walcowania blachy. W przypadku zastosowania luzu $S_m = 2$ mm grubość blachy na obrzeżu we wgłębieniu była największa. Spowodowane to było silną deformacją kołnierza, który przechodził przez wąską szczelinę pomiędzy stemplem i matrycą. Wskutek wyjęcia z matrycy obszar ten uległ znacznemu rozprężeniu. Dla luzu $S_m = 2,25$ mm i $S_m = 2,5$ mm uzyskano mniejszą wartość grubości. W tych przypadkach deformacja kołnierza nie występowała dlatego uzyskane wartości są mniejsze w stosunku do luzu $S_m = 2$ mm. Zwiększaniu wielkości luzu ponad $S_m = 2,5$ mm towarzyszyło zwiększanie się grubości blachy na obrzeżu. Powiększająca się szczelina pomiędzy stemplem i matrycą umożliwia większą kumulację materiału na obrzeżu. Nie odnotowano natomiast zmian w grubości materiału na obrzeżu na kierunku głównym, czyli tam gdzie tworzą się ucha na obrzeżu. Dla wszystkich przypadków wielkości luzów wartość grubości wynosiła $g_0 = 2,2$ mm. Brak zmian na tym kierunku może być spowodowany tym, że materiał jest tutaj znacznie bardziej plastyczny i podatny. Wyniki eksperymentalne przedstawiono linią ciągłą, symulacyjne linią przerywaną. W tym przypadku zgodność wyników jest największa w stosunku do poprzednich pomiarów. Różnica największa dla grubości blachy na obrzeżu wynosi zaledwie 0,15 mm.



Rys. 5. Zależność grubości blachy na obrzeżu od luzu

Źródło: Opracowanie własne.

Wzrostowi luzu towarzyszył spadek wartości maksymalnej siły tłoczenia (rys. 6). Dla najmniejszego luzu siła maksymalna to $F_{s,max} = 62,5$ kN. Już nieznaczne zwiększenie luzu do $S_m = 2,25$ mm oznaczało zmniejszenie maksymalnej siły o 4 kN. Zwiększeniu natomiast luzu z $S_m = 2$ mm do $S_m = 3,25$ mm towarzyszył spadek maksymalnej wartości siły aż o 15%. Mniejsza wartość siły w przypadku większego luzu to wpływ zmniejszonego udziału tarcia wskutek zmniejszonych nacisków kontaktowych. Kontakt powierzchni wytłoczki występuje wtedy tylko z jednym narzędziem zazwyczaj z powierzchnią matrycy, co powoduje dalsze zmniejszenie udziału tarcia w procesie. Większy luz pomiędzy matrycą i stemplem to także mniejsza deformacja kołnierza wytłoczki przez zmniejszanie grubości blachy na obrzeżu. To także powoduje zmniejszenie wartości maksymalnej siły. Wyniki eksperymentalne przedstawiono linią ciągłą, symulacyjne linią przerywaną. Wzajemne pokrycie wyników było na poziomie dokładności 1 kN.



Rys. 6. Zależność maksymalnej wartości siły od luzu

Źródło: Opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych analiz numerycznych wpływu luzu matrycowego wynika, że stosowanie zbyt małej wielkości jest niekorzystne, gdyż powoduje znaczący wzrost wartości siły tłoczenia i przede wszystkim pocienienie blachy na zaokrąglonej krawędzi. Użycie zbyt dużego luzu znacznie przekraczającego grubość wyjściową blachy także jest niekorzystne. Mimo znacznie mniejszej siły potrzebnej do ukształtowania wyrobu, luz taki powoduje duże różnice między grubością blachy na obrzeżu i zaokrąglonej krawędzi. Wytłoczka uzyskuje też znacznie większą wysokość wskutek zmniejszenia tarcia o stempel. Powstaje także wada w postaci esowatego zarysu bocznej powierzchni, a przy bardzo dużej wartości luzu stożkowość ścianek wytłoczki. Najlepszą wartością luzu dla danego przypadku okazała się wartość 2,5 mm. Porównanie wyników numerycznych z eksperymentalnymi wpływu luzu matryco-

wego na charakterystyczne wielkości wytłoczki odnotowano większą wysokość wytłoczki na kierunku głównym i mniejszą na kierunku 45° dla wyników numerycznych. Wynikało to z przyjętej stałej wartości współczynnika tarcia, który zmienia się jednak w trakcie procesu. Dla pomiaru średnicy po wyjęciu z matrycy różnice pomiędzy wynikami numerycznymi i eksperymentalnymi wynosiły nie więcej niż 0,25 mm. Jeszcze mniejsze różnice odnotowano przy pomiarze grubości blachy na zaokrągleniu czy obrzeżu. Przy porównaniu maksymalnej wartości siły tłoczenia różnica pomiędzy wynikami numerycznymi i eksperymentalnymi była na poziomie 1 kN.

BIBLIOGRAFIA

1. Barlat F., Lege D. J., Brem J. C.: *A Six-Component Yield Function for Anisotropic Materials*, International Journal of Plasticity 7, 1991, p. 693-712.
2. Dobrucki W., Odrzywołek E.: *Analiza metod wyznaczania współczynnika tarcia między narzędziem i metalem w stanie płynięcia plastycznego, opartych na procesach walcowania i ciągnięcia*, Obróbka Plastyczna, Tom XIX, Zeszyt 1, Poznań 1980, s. 5-15.
3. Kałduński P., Kukiełka L.: *Problematyka doboru luzu między matrycą i stemplem w procesie wytłaczania w aspekcie jakości wyrobu*, Projektowanie Procesów Technologicznych, Poznań 2006, s. 153-161
4. Kałduński P., Kukiełka L.: *Wpływ luzu matrycowego na odkształcenia i naprężenia w wytłoczce po odciążeniu*, Polioptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania, Mielno 2007, s. 128-134.
5. Marciniak Z.: *Konstrukcja tłoczników*, Ośrodek Techniczny A. Marciniak, Warszawa 2002.

INFLUENCE OF THE DIE BLOCK CLEARANCE IN THE DRAWING PROCESS ON DRAWPIECE SHAPE INCLUDING FLAT ANISOTROPY

Abstract

The paper presents a numerical analysis and experimental verification influence of the clearance between the die and punch in the drawing process. Numerical investigations were carried out in Ansys / Ls-Dyna by the Finite Element Method. Material model which has been used takes into consideration the flat anisotropy. The results obtained from simulation were compared with experimental results obtained on the hydraulic press. The best value of clearance has been determined for this case of drawing. Selected results of computer simulations were presented.

Autor: dr inż. **Paweł Kałduński** – Politechnika Koszalińska