

Wpływ kształtu żeber na ich odwzorowanie w procesie tłoczenia stemplem elastycznym

The influence of rib shapes on its realization in drawing process with elastic tool

MARIUSZ KRAKOWSKI
JAROSŁAW BARTNICKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.12.191>

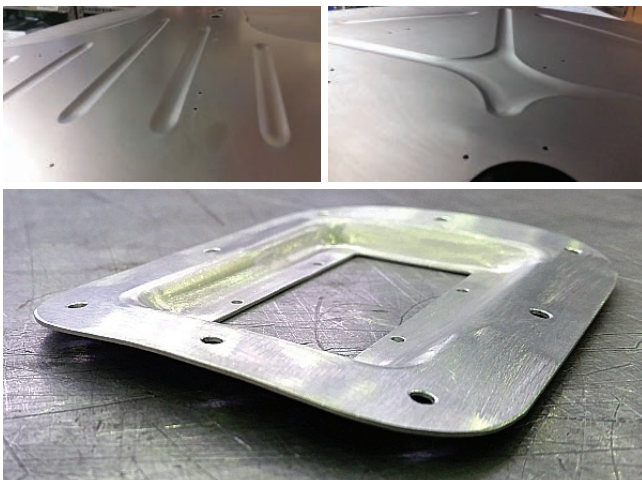
Przybliżono problematykę kształtowania wyrobów z blach za pomocą stempli elastycznych. Wykonano obliczenia numeryczne wybranego kształtu żeber planowanej do wykonania wytłoczki. Ich celem było ustalenie parametrów technologicznych procesu. Zmiana wysokości żebra oraz promieni zaokrągleń wytłoczki pozwoliła na ustalenie ograniczeń tego procesu w odniesieniu do planowanej geometrii kształtowanego wyrobu. Prace badawcze kontynuowano w oparciu o narzędzia wykonywane metodą druku 3D. W ten sposób weryfikowano doświadczalnie wyniki symulacji.

SŁOWA KLUCZOWE: tłoczenie gumą, narzędzia elastyczne, MES

The paper deals with the drawing process by means of elastic tools. Numerical analysis of this kind of sheet metal forming were realized for chosen rib shapes. Changes of radius and rib height values were useful for technological parameters verification taking into consideration planned final parts geometry. In this work the comparison between numerical analysis results and laboratory research using 3D printing technology are presented.

KEYWORDS: elastic tools drawing, elastic tools, FEM

Wykorzystanie procesów tłoczenia narzędziami elastycznymi ogranicza się zazwyczaj do produkcji jednostkowej oraz małoseryjnej. Dobrym przykładem jest tu przemysł lotniczy, gdzie stemplami elastomerowymi kształtuje się blachy poszyciowe, płyty przekładkowe, wsporniki oraz elementy łącznikowe. W tej technologii wytwarza się przegrody ogniowe oddzielające poszczególne sekcje układu napędowego śmigłowców oraz panele poszyciowe przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Przykłady wyrobów tłoczonych stemplami elastomerowymi – przegrody ogniowe śmigłowca (na górze) oraz panel mocujący (na dole)

* Mgr inż. Mariusz Krakowski (mariusz.krakowski.gm@gmail.com), dr hab. inż. Jarosław Bartnicki (j.bartnicki@pollub.pl) – Katedra Komputerowego Modelowania i Technologii Obróbki Plastycznej, Politechnika Lubelska

Wielką zaletą rozwiązania z elastycznymi stemplami jest to, że do wykonania wytłoczki potrzeba tylko jednej sztywnej matrycy. To wydatnie ogranicza koszty oprzyrządowania i redukuje czas przygotowania produkcji.

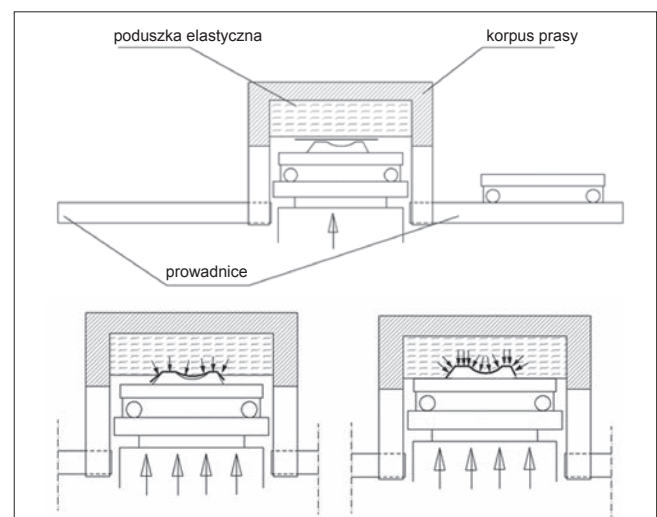
Dodatkowym atutem wykorzystania elastycznych narzędzi jest możliwość łatwiejszej – w porównaniu z tradycyjnym wytłaczaniem – modernizacji kształtu wykonywanego wyrobu, co np. w produkcji lotniczej zdarza się stosunkowo często [1–4].

Wdrożenie symulacji numerycznych z zastosowaniem metody elementów skończonych (MES) do projektowania tego typu procesów umożliwia dalsze skrócenie czasu projektowania oraz szybką weryfikację poprawności założeń konstrukcyjnych, uwzględniających zachowanie blachy pod obciążeniem przenoszonym przez elastyczny stempel.

W przedstawionej analizie procesu tłoczenia stemplami elastycznymi zdecydowano się na prowadzenie symulacji numerycznych w oprogramowaniu Simufact Forming. Przetłoczenia dla różnych kształtów żeber weryfikowano w warunkach laboratoryjnych na Politechnice Lubelskiej oraz w próbach przemysłowych. Z myślą o ograniczeniu kosztów oraz sprawdzeniu możliwości wykorzystania metody druku 3D narzędzia sztywne wykonano z tworzyw sztucznych. Badania potwierdziły praktyczną możliwość stosowania tej techniki do wytwarzania matryc narzędziowych.

Proces tłoczenia narzędziem elastycznym

W warunkach przemysłowych matryca sztywna do procesu tłoczenia jest zabudowywana na stole przesuwym, który przemieszcza po prowadnicach w obszar roboczy prasy. Na kształtowanym materiale układa się warstwy ochronne oraz elastyczną przeponę. Schemat przebiegu procesu kształtowania pokazano na rys. 2



Rys. 2. Kolejne etapy tłoczenia blachy narzędziami elastycznymi

Ciecz włączana do przestrzeni nad stemplem elastycznym, ograniczonej przepłoną, uzyskuje ciśnienie robocze, którego wartość zależy od wielu czynników technologicznych, takich jak: rodzaj i grubość materiału, głębokość tłoczenia oraz zakładane promienie gięcia. Dodatkowe czynniki utrudniające prowadzenie procesu to: zjawisko sprężynowania, ryzyko pojawienia się tzw. luźnych pól oraz możliwość wprowadzenia niepożądanych naprężeń wewnętrznych. W niektórych przypadkach wykonywana jest wtedy operacja wyżarzania odpuszczającego na tych samych przyrządach, w których półfabrykaty są mocowane do procesu tłoczenia [5–8].

Przykładową prasę hydrauliczną firmy Avure o konstrukcji tunelowej do realizacji opisywanego procesu tłoczenia przedstawiono na rys. 3. Maszyna ta dysponuje ciśnieniem cieczy roboczej o wartości do 800 barów.

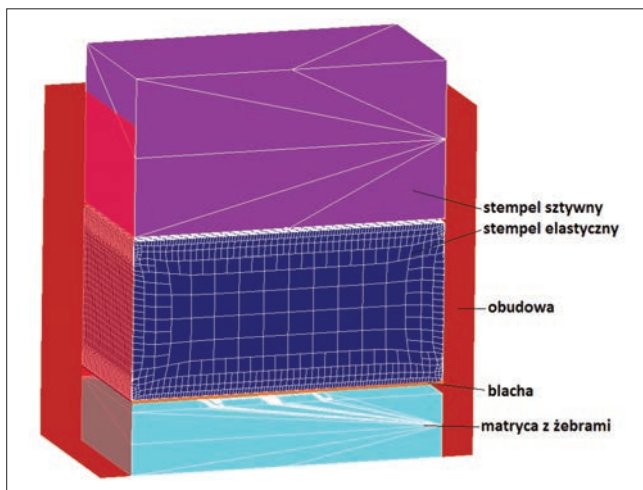


Rys. 3. Przemysłowa prasa tunelowa Avure wykorzystywana w procesie tłoczenia narzędziami elastycznymi

Analiza numeryczna procesu tłoczenia żeber narzędziami elastycznymi

Obliczenia numeryczne procesu kształtowania żeber stemplami elastycznymi prowadzono w oprogramowaniu Simufact Forming. Na ten wybór wpłynęły szerokie możliwości dyskretyzacji modelu geometrycznego wsadu. W module przewidzianym do tworzenia siatki elementów skończonych Sheet Mesh uzyskiwano siatki o trzech elementach na grubości blachy tytanowej CP2, w której kształtowano żebra.

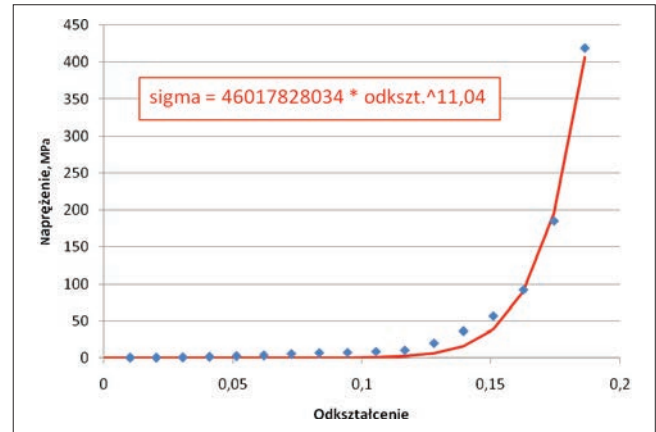
Na rys. 4 przedstawiono model obliczeniowy przygotowany do symulacji. Ze względu na konieczność ograniczenia przemieszczania się elementu elastycznego w boki zastosowano dodatkowe obudowy dla tego ele-



Rys. 4. Model numeryczny procesu tłoczenia stemplem elastycznym bez pokazanego półfabrykatu

mentu. Jednak głównym problemem w tak modelowanym procesie wytłaczania było określenie charakterystyki materiału elastycznego.

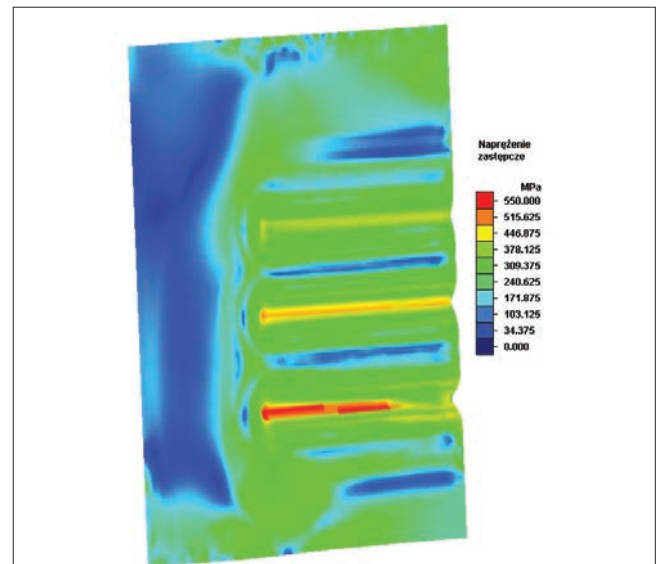
W tym celu wykonano badania [9], w których wyznaczono zależność naprężenie–odkształcenie dla materiału rzeczywistego stosowanego w praktyce przemysłowej i pozyskanego do prób laboratoryjnych. Wyniki tych analiz przedstawiono na rys. 5 w formie wykresu oraz równania, które zaimplementowano do programu obliczeniowego.



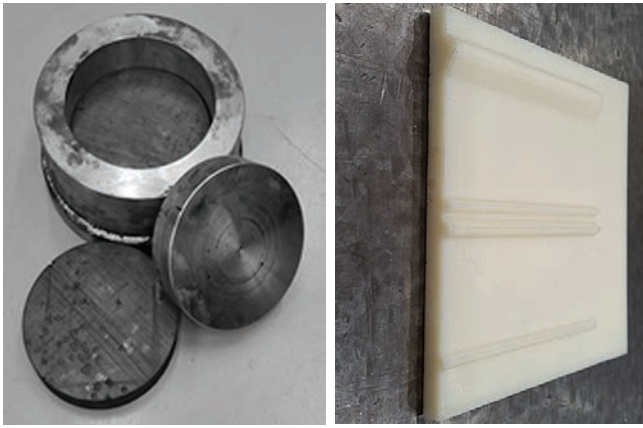
Rys. 5. Wykres zależności naprężenie–odkształcenie uzyskany dla prób stemplami gumowymi, stosowanymi w praktyce przemysłowej [9]

Dla podanego modelu numerycznego przyjęto model tarcia stałego z czynnikiem tarcia $m = 0,3$. Proces realizowano w temperaturze pokojowej $T = 20^{\circ}\text{C}$, a prędkość narzędzia wynosiła $v = 20 \text{ mm/s}$. Model materiału o wymiarach $100 \times 100 \text{ mm}$ podzielono na ok. 34 000 elementów z lokalnymi zagęszczeniami siatki w obrębie kształtowanych żeber. Wybór blachy tytanowej w gatunku CP2 był podyktowany jej szerokim zastosowaniem w produkcji lotniczej. W specyfice konstruowania z blach tytanowych poszycia i wsporników obok realizacji procesów cięcia na wymiar konieczne jest wprowadzenie żeber usztywniających te bardzo lekkie struktury.

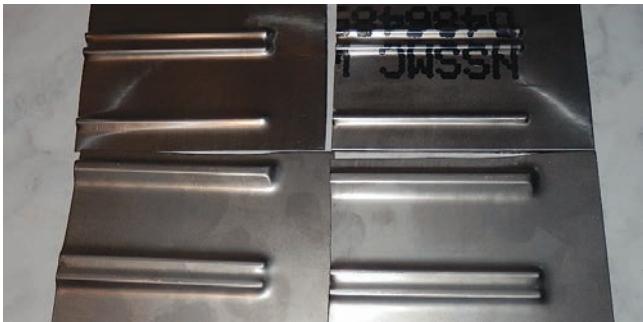
Przykładowe wyniki obliczeń kształtowania żeber o trzech różnych wysokościach i promieniach zaokrąglenia podano na rys. 6 wraz z rozkładem naprężeń zastępczych na koniec procesu kształtowania.



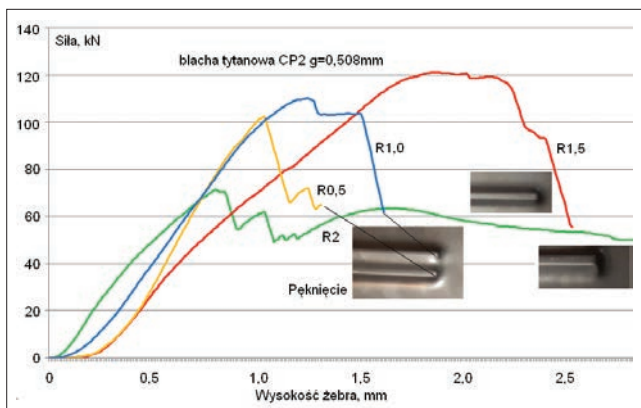
Rys. 6. Rozkład naprężeń zastępczych w wyrobie kształtowanym narzędziem elastycznym (materiał tytan CP2)



Rys. 7. Przyrząd ze stemplem elastomerowym oraz stalowym (po lewej) oraz narzędzie z tworzywa ABS z żebrami (po prawej)



Rys. 8. Zestawienie próbek doświadczalnych z żebrami ukształtowanymi w warunkach laboratoryjnych



Rys. 9. Zestawienie przebiegu sił w procesie kształtowania żeber o kształtach pokazanych na rysunku

W analizie numerycznej skupiono się na właściwym odwzorowaniu kształtu zaprojektowanego żebra oraz na wartościach naprężeń pojawiających się w materiale i mogących skutkować jego pękaniem. Analizowano wytłaczanie żeber o wysokości do 2,5 mm (wysokość przystająca co 0,5 mm) oraz promieniach zaokrąglenia do R2, także ze zmianą wartości co 0,5 mm. W ten sposób udało się przebadać 20 przypadków kształtowania żeber i ustalić ograniczenia procesu związane głównie z pękaniem materiału. Ten konkretny przypadek odnosi się do problemu wytwarzania przegród ogniowych dla przemysłu lotniczego, stąd zakres badań zawężono do podanego zestawienia wymiarowego.

Po wykonaniu obliczeń numerycznych zdecydowano się na wydrukowanie w drukarce 3D narzędzi w postaci płytek z tworzywa ABS. Po wydrukowaniu powierzchnie robocze narzędzi powlecano żywicą, aby ograniczyć chropowatość i zmniejszyć tarcie.

Przyrząd do procesu tłoczenia, stemple oraz narzędzia wykonane z ABS przedstawiono na rys. 7. W wyniku badań laboratoryjnych uzyskano próbki z blachy tytanowej CP2 z żebrami odwzorowującymi kształt narzędzia z tworzywa. Wybrane próbki przedstawiono na rys. 8.

Widoczne w środkowej części zestawienie dwóch żeber miało na celu sprawdzenie możliwości ograniczenia tendencji do pojawiania się „luźnych pól” w gotowym wyrobie. Badania w tym zakresie będą dopiero kontynuowane.

Na podstawie obliczeń prowadzonych z wykorzystaniem podanego modelu materiałowego przeanalizowano procesy tłoczenia żeber w blachach tytanowych. Pojawiające się w obliczeniach numerycznych większe wartości naprężeń zastępczych, zwłaszcza na końcu kształtowanych żeber, znalazły odzwierciedlenie w rzeczywistości w postaci pęknięcia blachy w tych obszarach.

Na rys. 9 wskazano, że w żebrach wykonywanych z promieniem zaokrąglenia R0,5 oraz R1 doszło do przerwania ciągłości blachy, czego nie zaobserwowano przy zwiększeniu promieni gięcia. Wartości te mają charakter orientacyjny i odnoszą się tylko do wybranego typu stempla elastomerowego, o określonej grubości. Każda zmiana w tym zakresie może wpływać na końcowe wyniki. Wymaga to prowadzenia dodatkowych badań związanych z przygotowaniem danych do modeli materiałowych stosowanych w oprogramowaniu MES.

Podsumowanie

Zastosowanie nowoczesnych narzędzi symulacyjnych MES w projektowaniu kształtu narzędzi przeznaczonych do procesów tłoczenia narzędziami elastycznymi umożliwia prognozowanie przebiegu wybranych operacji. Ustalenie zależności pomiędzy kształtem narzędzia sztywnego, charakterystyką sprężystości i wymiarami (grubością) elementu elastomerowego oraz założeniami parametrów technologicznych procesu wciąż jest wyzwaniem dla technologów. Wymagania dotyczące kształtowania wyrobów o coraz bardziej złożonej geometrii dodatkowo utrudniają projektowanie procesów technologicznych. W pracy nie uwzględniono możliwości zastosowania innych materiałów elastomerowych jako stempli elastycznych, co zostanie zrealizowane w przyszłych badaniach nad tą technologią kształtowania blach.

Kolejnym zagadnieniem dla tego typu procesów wydaje się stosowanie narzędzi elastycznych o budowie wielostopniowej, co umożliwi kształtowanie wyrobów z mniejszymi promieniami zaokrąglenia i poszerzy możliwości aplikacji tego rozwiązania.

LITERATURA

- Marciniak Z. „Konstrukcja tłoczników”. Warszawa: Ośrodek techniczny A. Marciniak Sp. z o.o., 2002.
- Klocke F. „Manufacturing Processes – 4 Forming”. Aachen: RWTH, 2014.
- Großmann K., Wiemer H., Hardtmann A., Penter L., Kriechenbauer S. “Adjusting the Contact Surface of Forming Tools in Order to Compensate for Elastic Deformations during the Process”. 7th European LS-DYNA Conference. Institute for Machine Tools and Control Engineering, TU Dresden, Dresden, Germany 2009.
- Romanowski W.P. „Poradnik obróbki plastycznej na zimno”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1976.
- Romanowski W.P. „Tłoczenie na zimno”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1974.
- Pater Z., Samolyk G. „Podstawy technologii obróbki plastycznej metali”. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2013.
- Paquin J.R., Crowley R.E. “Die design fundamentals”. 2nd ed. NY: Industrial Press Inc. 1987.
- Progressive Die Wizard Help, EDS 2003.
- Krakowski M., Bartnicki J. „Analiza procesu wytłaczania narzędziem elastycznym”. *Mechanik*. 11 (2017): s. 982–984.