

Analiza procesu wytłaczania narzędziem elastycznym

Analysis of the extrusion process using a flexible tool

MARIUSZ KRAKOWSKI
JAROSŁAW BARTNICKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.156>

English version available on: www.mechanik.media.pl

Przedstawiono wyniki prac dotyczących budowy modelu numerycznego procesu wytłaczania narzędziem elastycznym. W praktyce przemysłowej najczęściej spotyka się przekładki gumowe oraz elastomerowe, których zastosowanie wydatnie obniża koszty przygotowania narzędzi w porównaniu z tradycyjnymi, stalowymi tłocznikami. W artykule zaprezentowano rezultaty symulacji numerycznych zestawionych z procesem odkształcania narzędzia gumowego w specjalnie przygotowanym do tego przyrządzie modelowym. Wykorzystanie oprogramowania do modelowania numerycznego w połączeniu z przeprowadzeniem eksperymentu w warunkach laboratoryjnych pozwoliło na wstępne opracowanie modelu materiałowego do dalszych analiz procesów kształtowania narzędziami elastycznymi.

SŁOWA KLUCZOWE: narzędzia elastyczne, MES

Results of the works on the numerical modeling of the extrusion process using elastic tool are presented. In industrial practice, rubber and elastomer spacers are most commonly used, which significantly reduces the tool preparation costs as compared to traditional steel dies. The paper presents results of numerical simulations along with the process of rubber tool deformation in a specially prepared model device. The use of the software for numerical modeling in conjunction with laboratory experiments allows the initial development of a material model for further analysis of shaping processes using elastic tools.

KEYWORDS: elastic tools, FEM

Rozwiązania dotyczące procesów tłoczenia narzędziami elastycznymi są wykorzystywane w przypadku produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Najlepszym przykładem szerokiego wdrożenia tej technologii jest cały przemysł lotniczy, gdzie stemple elastomerowe stosuje się do kształtowania różnego rodzaju blach poszyciowych, płyt przekładkowych, przegród ogniowych, wsporników oraz elementów łącznikowych. Niektóre z tych wyrobów pokazano na rys. 1. Generalnie dla lotnictwa charakterystyczne jest ciągle udoskonalanie wyrobów, zmienianie ich i dostosowywanie do wymogów, co powoduje, że duże serie produkcyjne danego wyrobu nie mają uzasadnienia techniczno-ekonomicznego. Skomplikowane kształty produkowanych elementów, dopasowywane do krzywizn kadłuba oraz mieszczącego się w nim osprzętu, wymagają drogiego i skomplikowanego oprzyrządowania. Często po wykonaniu kilku sztuk lub pojedynczej partii próbnej wyrób jest zmieniany lub zastępowany nowszą wersją rozwojową, co generuje bardzo wysokie koszty. Względy ekonomiczne sprawiły, że tłoczenie narzędziami elastycznymi znalazło tak szerokie zastosowanie w tym przemyśle. Niewątpliwą zaletą tej metody jest to, że do wykonania wytłoczki na prasie z poduszką gumową wystarczy wykonanie sztywnej matrycy, natomiast rolę stempla pełni poduszka gumowa, która dopasowuje się do założonego kształtu. Dzięki temu ogranicza się realne koszty narzędziowe o połowę oraz

redukuje czas wytworzenia elementów kształtujących. Niejednokrotnie zdarza się, że narzędzia zaprojektowane dla danego wyrobu można po użyciu przerobić, uwzględniając zmianę wprowadzaną w wyrobie, lub przeprojektować [1–4]. Wykorzystanie w projektowaniu wyników symulacji numerycznych, bazujących na metodzie elementów skończonych (MES), pozwala na dalsze skrócenie czasu projektowania oraz szybkie zweryfikowanie poprawności przyjętych założeń konstrukcyjnych, uwzględniających zachowanie się blachy pod obciążeniem przenoszonym za pomocą elastycznego stempla. Możliwość wykrycia ewentualnych błędów na etapie konstrukcyjnym, a nie dopiero w trakcie wytwarzania narzędzi, podnosi komfort pracy człowieka i ogranicza do minimum ryzyko uzyskania niezadowolających rezultatów.

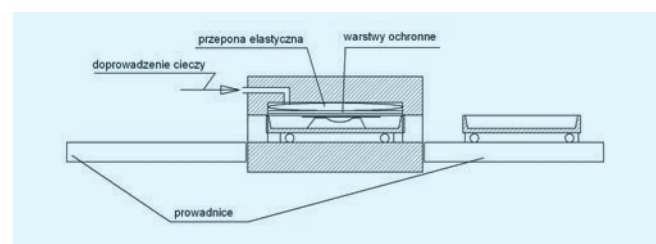
W zaprezentowanej analizie procesu tłoczenia zdecydowano się na prowadzenie symulacji w oprogramowaniu Simufact Forming, pozwalającym na wygenerowanie siatki elementów powierzchniowych, możliwie dokładnie odwzorowujących zakładany kształt półfabrykatu oraz powstającej wytłoczki.



Rys. 1. Przykłady wyrobów tłoczonych stemplami elastycznymi

Realizacja procesu tłoczenia narzędziem elastycznym

Realizacja procesu tłoczenia narzędziem elastycznym w warunkach przemysłowych opiera się najczęściej na zabudowaniu matrycy na stole przesuwającym się po prowadnicach, które przygotowany zespół – z materiałem kształtowanym, warstwami ochronnymi oraz elastyczną przeponą – wprowadzają w obszar roboczy prasy (rys. 2).

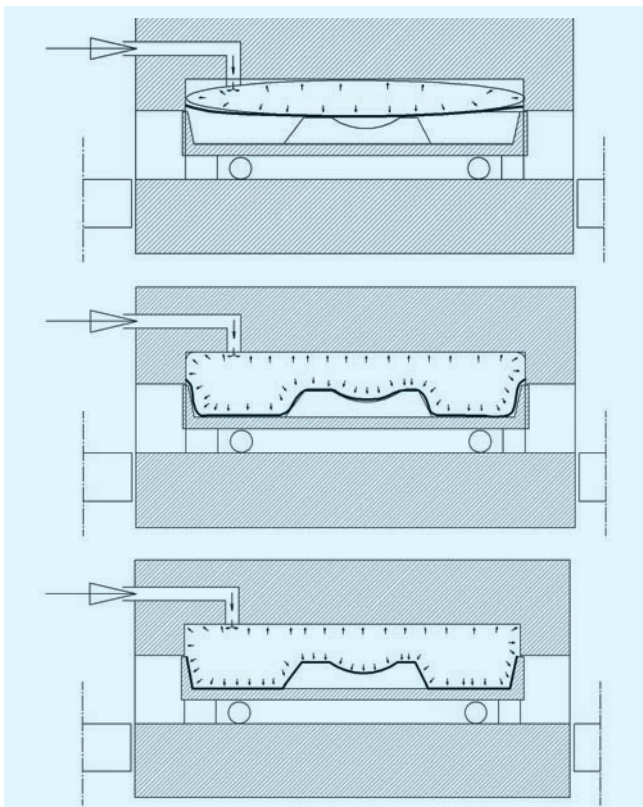


Rys. 2. Część dolna stołu z widocznymi listwami prowadzącymi

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

Po takim przygotowaniu procesu pozostaje jeszcze podanie cieczy roboczej pod odpowiednim ciśnieniem oraz utrzymanie przyjętego czasu kształtowania, który zależy od wielu czynników technologiczno-konstrukcyjnych (od grubości i rodzaju kształtowanego materiału, zakładanego kształtu wyrobu gotowego z uwzględnieniem głębokości tłoczenia i promieni gięcia itp.). Wprowadzenie w konstrukcjach lotniczych szerszego pakietowania blach oraz rozwiązań z przekładkami z innych materiałów spowodowało, że niektóre wyroby mogą być kształtowane po wcześniejszym złożeniu. Takie procesy są szczególnie trudne do realizacji z uwagi na możliwość różnego wydłużania się i zginania wzajemnie powiązanych ze sobą elementów struktury. W tym przypadku dodatkowo wprowadzenie naprężeń wewnętrznych na etapie powstawania elementu jest niewskazane, a czasami wręcz niebezpieczne. Z tego powodu opracowywane rozwiązania konstrukcyjne narzędzi elastycznych do tłoczenia uwzględniają niekiedy konieczność wyżarzania odprężającego w tych samych przyrządach, w których półfabrykaty są mocowane do procesu tłoczenia. Na rys. 3 przedstawiono kolejne etapy procesu kształtowania stemplem elastycznym, a na rys. 4 – przykładowe prasy hydrauliczne o konstrukcji tunelowej do realizacji opisywanego procesu.

Czeska prasa tunelowa firmy ZDAZ wymaga ustawienia matrycy z półfabrykatami na stole prasy. Po przesunięciu stołu po prowadnicach do strefy roboczej maszyny i złożeniu przygotowanego pakietu do powierzchni roboczej narzędzi następuje kształtowanie poprzez elastyczną przeponę, która oddziela komorę z narzędziami i półfabrykatami od komory roboczej z gumowym elementem w kształcie worka, wypełnianego cieczą wtłaczaną pod dużym ciśnieniem. W przypadku szwedzkiej prasy tunelowej firmy AVURE ta ciecz osiąga ciśnienie robocze na poziomie do 800 bar. W praktycznej realizacji procesów tłoczenia narzędziami elastycznymi w prasach hydraulicznych tunelowych konieczne jest duże doświadczenie



Rys. 3. Kolejne etapy procesu tłoczenia blachy narzędziami elastycznymi



Rys. 4. Przykładowe prasy wykorzystywane do realizacji procesu tłoczenia narzędziami elastycznymi

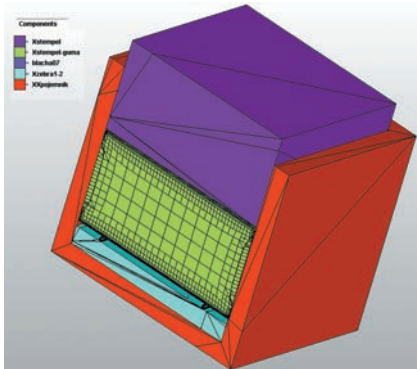
technologiczno-konstrukcyjne. Jednym z podstawowych problemów jest uzyskanie wyrobów mieszczących się w założonych tolerancjach wymiarowych, co przy narzędziu odkształcalnym wcale nie jest oczywiste [5–8].

Analiza numeryczna procesu tłoczenia narzędziem elastycznym

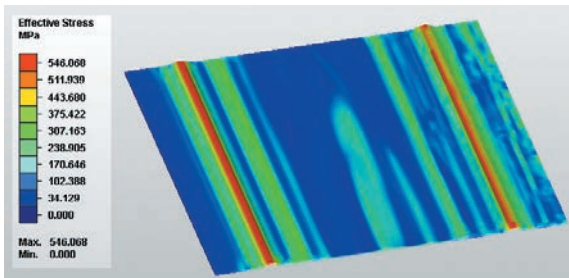
Do obliczeń numerycznych procesów kształtowania narzędziami elastycznymi wybrano oprogramowanie Simufact Forming, które daje szerokie możliwości dyskretyzacji modelu geometrycznego półfabrykatu. Podział blachy na elementy skończone w przewidzianym do tego module *Sheet Mesh* gwarantował ich optymalny rozkład na grubości blachy (w obliczeniach przyjmowano 3 lub 5 elementów na grubości) oraz pozwalał na ograniczenie ich liczby. Na rys. 5 przedstawiono przygotowany do obliczeń model numeryczny narzędzi, za pomocą których realizowano tłoczenie 2 równoległych żeber o zmiennym kształcie w wyrobie blaszanym. Główną trudnością planowanej symulacji numerycznej było wprowadzenie modelu materiałowego gumy, z której wykonany był stempel. Przyjęte założenia w zakresie modułu Younga oraz liczby Poissona posłużyły do zbudowania modelu o charakterystyce liniowej, co jednak okazało się zbyt dużym uproszczeniem. Ponadto w trakcie prowadzonych analiz zdecydowano się na obudowanie elastycznego elementu gumowego sztywną obudową, ograniczającą przemieszczanie się gumy na boki. Dopiero tak przygotowany model geometryczny zapewnił wywarcie odpowiedniego nacisku, dającego możliwość odkształcania się przyjętej do obliczeń blachy tytanowej o grubości 0,5 mm. Wybór tytanu wynikał z szerokiego zastosowania tego materiału w produkcji lotniczej, np. do wykonywania przegród ogniowych lub wsporników. W przypadku tego typu wyrobów obok konieczności cięcia na wymiar zachodzi też potrzeba wprowadzania żeber usztywniających te bardzo lekkie struktury. Wyniki obliczeń wstępnych przedstawiono na rys. 6, gdzie podano przykładowy rozkład naprężeń zastępczych na koniec procesu kształtowania.

W celu dokładniejszego opisu warunków analizowanego numerycznie procesu konieczne stało się zbudowanie modelu materiałowego narzędzia elastycznego. Zdecydowano się więc na badania doświadczalne

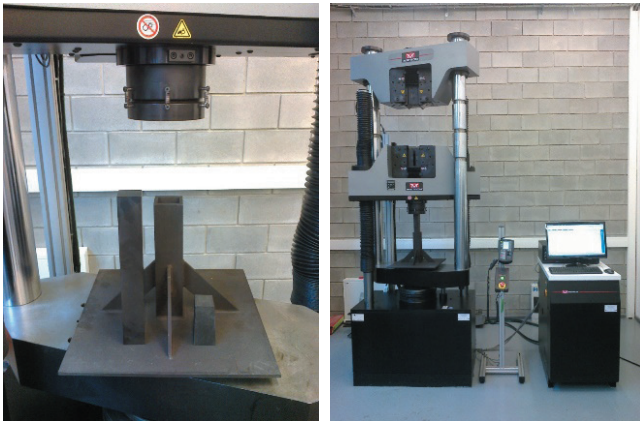
z wykorzystaniem specjalnie przygotowanego przyrządu badawczego, który zabudowano w maszynie wytrzymałościowej znajdującej się w laboratoriach Politechniki Lubelskiej (rys. 7). Po przeprowadzeniu prób ściskania stempli gumowych (wykonanych z dostępnego materiału komercyjnego) o różnej wysokości (50, 100 i 150 mm) wyznaczono zależność naprężenie – odkształcenie, której równanie i wykres przedstawiono na rys. 8.



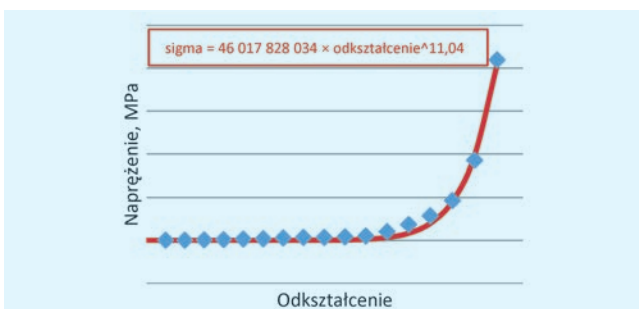
Rys. 5. Model numeryczny procesu tłoczenia stemplem elastycznym bez pokazanego półfabrykatu



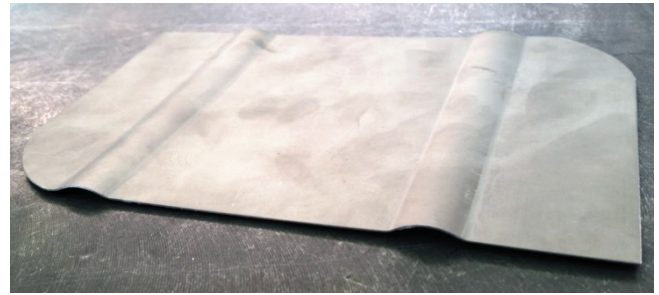
Rys. 6. Rozkład naprężeń zastępczych w wyrobie kształtowanym narzędziem elastycznym (materiał Ti6Al4V)



Rys. 7. Przyrząd wraz ze stemplem gumowym oraz stalowym (po lewej) oraz jego zabudowa w maszynie wytrzymałościowej (po prawej)



Rys. 8. Wykres zależności naprężenie – odkształcenie, uzyskany w próbach ze stemplami gumowymi stosowanymi w praktyce przemysłowej



Rys. 9. Przykładowy wyrób z 2 żebrami (na górze) oraz uwidoczniona odchyłka wymiarowa do wyeliminowania (na dole)

Na podstawie obliczeń dla podanego modelu materiałowego obecnie analizowane są procesy tłoczenia żeber na blachach tytanowych (rys. 9) – w tym przypadku problemem są najczęściej fałdowanie oraz tzw. luźne pola. Niestety, każdy z analizowanych procesów przy zmianie materiału stempla elastycznego wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań, aby przygotować dane do modeli materiałowych stosowanych w oprogramowaniu MES.

Podsumowanie

Zastosowanie oprogramowania MES na etapie konstruowania przyrządów do procesów tłoczenia narzędziami elastycznymi znacząco upraszcza procedurę wdrożeniową tej technologii. Ustalenie prawidłowego kształtu narzędzia sztywnego oraz dobór charakterystyki stempli elastycznych w odniesieniu do przykładanych sił kształtowania wciąż stanowi istotny problem technologiczny. Zagadnienia te stają się coraz trudniejsze i mniej przewidywalne wraz ze wzrostem skomplikowania konstrukcji złożonych z elementów produkowanych tą metodą. Dalszy rozwój technik obliczeniowych znacznie ułatwia projektowanie i możliwe, że w nowych wersjach oprogramowania symulacyjnego znajdą się modele komercyjnie stosowanych materiałów.

LITERATURA

1. Marciniak Z. „Konstrukcja tłoczników”. Warszawa: Ośrodek Techniczny A. Marciniak Sp. z o.o., 2002.
2. Klocke F. “Manufacturing Processes”. 4. Forming RWTH, Aachen 2014.
3. 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.
4. Romanowski W.P. „Poradnik obróbki plastycznej na zimno”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1976.
5. Romanowski W.P. „Tłoczenie na zimno”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1974.
6. Pater Z., Samołyk G. „Podstawy technologii obróbki plastycznej metali”. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2013.
7. Paquin J.R., Crowley R.E. “Die design fundamentals”. Second edition. NY: Industrial Press Inc., 1987, s. 244.
8. Progressive Die Wizard Help, EDS 2003.