

Symulacja MES procesów tłoczenia na gorąco

FEM simulation of hot forming stamping processes

IRENEUSZ WRÓBEL*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.7.87>

Przedstawiono metodykę analizy technologiczności wytłoczek produkowanych metodą tłoczenia na gorąco ze stali 22MnB5 z wykorzystaniem symulacji metodą elementów skończonych. Symulację wykonano dla typowego elementu karoserii samochodu – słupka B. Zdefiniowano parametry symulacji mające znaczący wpływ na wyniki. Przedstawiono i skomentowano wyniki symulacji. Sformułowano wnioski i zalecenia.

Presented is the methodology for the analysis of manufacturability stampings manufactured using hot stamping steel 22MnB5 using finite element simulation. The simulation was performed for the B-pillar – a typical part of the car body. Defined simulation parameters having a significant impact on the results. Simulation results were showed and commented. Conclusions and recommendations were formulated
KEYWORDS: hot forming, draw pieces, FEM simulation

Karoserie nowoczesnych samochodów osobowych powinny być jak najlżejsze, z zachowaniem wszystkich standardów bezpieczeństwa jakim podlegają tego typu konstrukcje. Można zauważyć, że nowe modele popularnych marek samochodów mają masę mniejszą o przynajmniej 20% od poprzednich modeli. Ten trend obserwuje się od kilku lat i jest on spowodowany wysokimi wymaganiami co do emisji szkodliwych gazów przez samochody [4, 5].

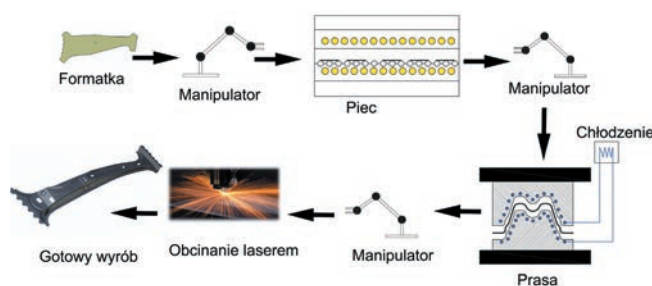
Zmniejszenie wagi karoserii jest możliwe dzięki zastosowaniu nowych materiałów i technologii wytwarzania elementów karoserii. Odpowiedzialne za bezpieczeństwo kierowców i pasażerów elementy karoserii projektuje się ze stali o podwyższonych właściwościach mechanicznych (stali AHSS, DP, TRIP). Jednak obróbka plastyczna tych materiałów jest trudna technicznie ze względu na duże siły występujące podczas wykrawania i tłoczenia oraz na efekt sprężynowania powrotnego [1–3].

Aby otrzymać części karoserii o wymaganych właściwościach mechanicznych, opracowano technologię tłoczenia na gorąco ze stali 22MnB5. Jest to dobrze hartująca się stal przeznaczona do tłoczenia na gorąco z równoczesnym kształtowaniem i hartowaniem wytłoczki. Przed obróbką cieplno-plastyczną ma strukturę ferrytyczno-perlityczną, natomiast po obróbce – martenzytyczną. Wraz z obróbką cieplno-plastyczną (tłoczeniem na gorąco) zmieniają się jej właściwości mechaniczne. Granicę plastyczności oraz granicę wytrzymałości dla tej stali przed obróbką cieplno-plastyczną i po niej przedstawiono w tabl. I.

TABLICA I. Właściwości stali 22MnB5 przed obróbką cieplno-plastyczną i po niej

	Przed obróbką cieplno-plastyczną	Po obróbce cieplno-plastycznej
Re, MPa	320+550	1050+1100
Rm, MPa	500+700	1450+1500
Twardość, HV	190	430+450

Wytłoczki ze stali 22MnB5 kształtuje się w procesie tłoczenia na gorąco. Schemat tego procesu przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat procesu tłoczenia na gorąco

Proces produkcji rozpoczyna się od wykrojenia płaskiej formatki o kształcie, który zapewni dokładne odwzorowanie obrysu wytłoczki po tłoczeniu. Formatka jest przenoszona przez manipulator do pieca, gdzie następuje jej nagrzanie do temperatury austenizacji ($920\pm 940^\circ\text{C}$). Nagrzana formatka jest przenoszona przez manipulator do tłocznika zamocowanego w prasie. W dalszej kolejności następuje zamknięcie stempla z matrycą oraz przez kilka sekund ($3\div 5$ s) ich docisk z pełną mocą prasy. W tym czasie następuje szybkie chłodzenie wytłoczki i zachodzi przemiana martenzytyczna. Po schłodzeniu wytłoczki do temperatury ok. 150°C tłocznik się otwiera i kolejny manipulator przenosi gotową wytłoczkę na specjalny przenośnik taśmowy. Podczas przenoszenia wytłoczka jest schładzana do temperatury pokojowej, a na końcu jest ona pakowana i wysyłana do odbiorcy. Można zauważyć, że w tym procesie połączono obróbkę plastyczną (tłoczenie) i cieplną (hartowanie). W trakcie opracowywania koncepcji tego procesu ważne jest, aby jednocześnie uwzględnić wymagania techniczne związane z obróbką plastyczną i obróbką cieplną.

Cel analizy

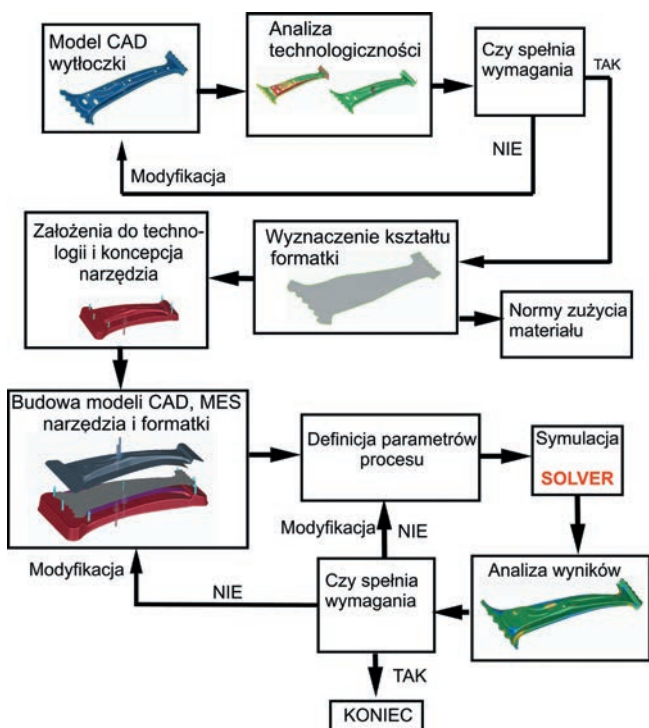
Proces tłoczenia powinien być tak zaprojektowany, aby finalna wytłoczka nie miała wad w postaci pęknięć czy zmarszczek, była wykonana z odpowiednią dokładnością kształtowo-wymiarową (podobnie jak w tłoczeniu na zimno) oraz dodatkowo charakteryzowała się wymaganymi właściwościami mechanicznymi (R_e , R_m , twardością) i strukturą metalograficzną (martenzyt). Aby spełnić te wymagania, podczas planowania procesu technologicznego i jego kluczowych parametrów niezbędne jest wykonanie komputerowej symulacji tego procesu. Danymi wejściowymi w procesie tłoczenia na gorąco są: rodzaj i grubość materiału formatki, kształt formatki, temperatura formatki po wyjściu z pieca, czas przenoszenia z pieca do tłocznika, czas formowania oraz hartowania, siła docisku prasy podczas hartowania, temperatura końcowa wytłoczki oraz prędkość przesuwu elementów tłocznika (stempla, docisków).

Najbardziej istotnym etapem procesu tłoczenia na gorąco – jeśli chodzi o uzyskanie wymaganych własności mechanicznych i metalograficznych oraz dokładności kształtowo-wymiarowej gotowej wytłoczki – jest nagrzanie, przenoszenie nagrzanej formatki z pieca do tłocznika oraz kształtowanie wytłoczki (tłoczenie) wraz z chłodzeniem.

* Dr hab. inż. Ireneusz Wróbel (iwrobel@ath.bielsko.pl) – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Projektowanie procesu technologicznego tłoczenia na gorąco

Projektowanie procesu technologicznego tłoczenia na gorąco składa się z kilku etapów (rys. 2). Na pierwszym etapie analizowany jest kształt wytłoczki pod względem jej technologiczności. Analizę tę można wykonać w systemach CAD, np. VISI, NX, lub w systemach do analizy MES procesów tłoczenia, takich jak PamStamp i Autoform. Obliczany jest optymalny kierunek otwarcia tłoczniaka i analizowane są kąty pochylenia odpowiednich ścianek wytłoczki pod względem możliwości wyjęcia wytłoczki z tłoczniaka. Analizuje się też wymagania dokładności kształtowo-wymiarowej wytłoczki oraz sprawdza, czy zaproponowany proces pozwoli na ich spełnienie. Jeśli wyniki analizy są pomyślne (wytłoczka ma technologiczny kształt i wymagania dokładności kształtowo-wymiarowej mogą zostać spełnione), następuje kolejny etap projektowania procesu technologicznego. W przeciwnym razie wymagana jest modyfikacja kształtu wytłoczki.



Rys. 2. Schemat postępowania podczas projektowania procesów tłoczenia na gorąco

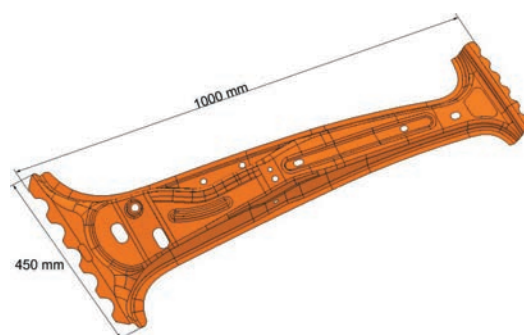
Kolejnym etapem projektowania procesów tłoczenia na gorąco jest wyznaczenie kształtu formatki. Jest to tzw. proces odwrotny. Na podstawie modelu CAD gotowej wytłoczki oblicza się kształt płaskiej formatki, która pozwoli uzyskać wytłoczkę o zadanym kształcie. Czasami na dalszym etapie symulacji procesu technologicznego wykonuje się optymalizację zarysu formatki. Na kolejnym etapie opracowuje się koncepcję narzędzia, definiuje się matrycę, stemple, dociski, kołki ustalające i prowadzące oraz sposób bazowania formatki w narzędziu. Przy tych czynnościach bardzo ważne są wiedza i doświadczenie inżyniera.

Celem kolejnego etapu jest sprawdzenie poprawności opracowanej koncepcji narzędzia. Przygotowuje się model CAD, modele dyskretne MES narzędzia, formatki. Definiuje się kluczowe parametry procesu, takie jak temperatura formatki, temperatura narzędzi i czas przenoszenia formatki z pieca do tłoczniaka; opracowuje się kinematykę narzędzia itp. Następnie przeprowadza się analizę MES. Ostatnim etapem jest analiza wyników. Analizuje

się warstwicę pocienienia wytłoczki, warstwicę FLD (*forming limit diagram*), uzyskaną strukturę oraz twardość. Jeśli wyniki analizy są pomyślne, to znaczy, że przyjęte założenia do procesu technologii tłoczenia na gorąco są poprawne. W przeciwnym razie należy zmodyfikować te założenia, zmienić koncepcję narzędzia lub zmodyfikować parametry procesu. W skrajnych przypadkach, aby uzyskać poprawne wyniki symulacji, należy zmodyfikować kształt wytłoczki.

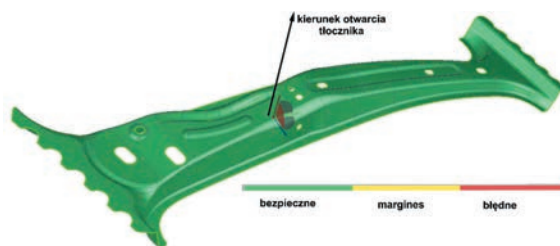
Analiza procesu tłoczenia na gorąco słupka B samochodu osobowego

Typowym elementem karoserii samochodu osobowego wytwarzanym technologią tłoczenia na gorąco jest słupek B. Na rys. 3 przedstawiono model CAD słupka B, dla którego opracowano technologię wykonania i przeprowadzono niezbędne symulacje MES. Słupek ma być wyprodukowany z blachy o grubości 1,6 mm, ze stali 22MnB5.



Rys. 3. Model CAD słupka B

W pierwszej kolejności wykonano analizę technologiczności – wyszukano optymalny kierunek otwarcia tłoczniaka oraz przeanalizowano kąty poszczególnych ścianek wytłoczki [6]. Na rys. 4 przedstawiono wyniki tej analizy w postaci warstwic. Kolor zielony oznacza, że wszystkie kąty mierzone względem kierunku otwarcia tłoczniaka mają poprawne wartości, kolorem żółtym oznaczono obszary wartości granicznych tych kątów, natomiast kolor czerwony oznacza, że w tych rejonach należy zmienić kształt wytłoczki. W przypadku analizowanej części warstwica w kolorze zielonym była na 100% powierzchni wytłoczki.

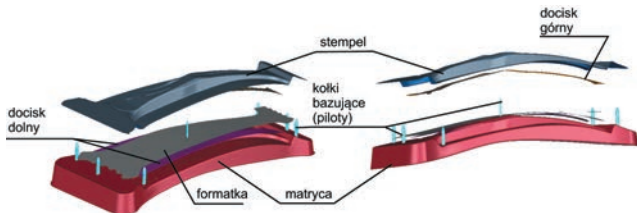


Rys. 4. Wyniki analizy kierunku otwarcia tłoczniaka i kątów wytłoczki

Na kolejnym etapie opracowano założenia procesu technologicznego produkcji wytłoczki i koncepcję narzędzi. W tym przypadku narzędzie składało się z matrycy, stempla oraz górnego i dolnego docisku. Proces kształtowania wytłoczki będzie się odbywał w następującej sekwencji: najpierw docisk górny zamknie formatkę w matrycy, potem stempel zamknie się z formatką na docisku dolnym i razem z dociskiem dolnym zamknie się na stemple. Założono odpowiednie siły docisku pomiędzy dociskiem górnym i matrycą oraz dociskiem dolnym i stemplem. Założono także odległości pomiędzy elementami narzędzia. Aby zapobiec niekontrolowanemu

przesuwaniu się formatki podczas tłoczenia, zaplanowano bazowanie formatki w matrycy na jej zarysie za pomocą sześciu kołków bazujących oraz w jednym technologicznym otworze, w którym założono jeden kołek bazujący. Dla tej koncepcji narzędzia opracowano modele CAD matryc, stempeli, docisków oraz kołków bazujących. Na rys. 5 przedstawiono modele CAD narzędzia.

Definiując kształt formatki, należy też przypisać jej odpowiednie właściwości materiałowe. Na potrzeby symulacji procesów tłoczenia na gorąco definiuje się właściwości materiału związane z przemianami fazowymi oraz właściwości związane z charakterystyką plastyczną materiału.



Rys. 5. Modele CAD narzędzia

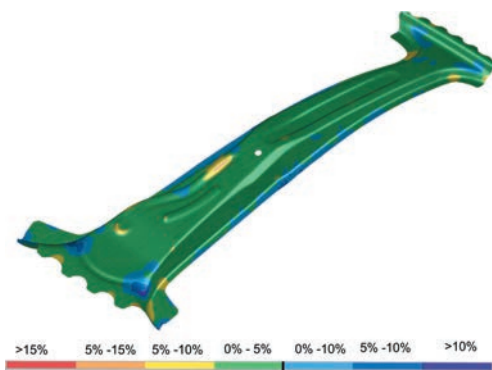
Wyniki analizy

Do najważniejszych wyników uzyskanych na drodze symulacji, które są analizowane przez inżynierów, można zaliczyć:

- warstwy pocień materiału wyłóczki,
- *forming limit diagram*,
- warstwy z rozkładem twardości i rozkładem martenzytu w wyłóczce,
- temperatury w kluczowych momentach procesu,
- deformację wyłóczki na poszczególnych etapach procesu tłoczenia.

Na rys. 6 przedstawiono warstwy pocień wyłóczki.

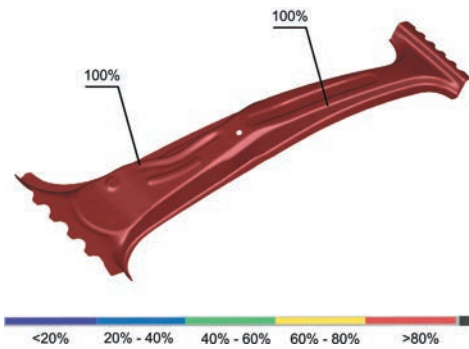
Przyjmuje się że dla materiału 22MnB5 maksymalne pocienienie nie może przekroczyć 15%. Na rys. 6 pocienienia nie przekraczają 12%. Zatem wyłóczka spełnia założone wymagania. Kolejnymi bardzo ważnymi wynikami symulacji procesu tłoczenia na gorąco są warstwy obrazujące, ile procent martenzytu wytworzyło się podczas hartowania oraz twardość, do jakiej zahartowała się wyłóczka (HV). Warstwy struktury – zawartość martenzytu przedstawiono na rys. 7.



Rys. 6. Warstwy pocień wyłóczki

W rozważanym przypadku zawartość martenzytu oraz twardość są prawidłowe.

Istotnymi wynikami analizy MES, które należy brać pod uwagę podczas projektowania procesu technologicznego tłoczenia na gorąco, są temperatury formatki i wyłóczki na kluczowych etapach procesu: po wyjęciu z pieca, po przeniesieniu formatki z pieca do matrycy, przed hartowaniem, po tłoczeniu i hartowaniu.



Rys. 7. Warstwy struktury – zawartość martenzytu

Wartości temperatury uzyskane w analizowanym przypadku podano w tabl. II.

TABLICA II. Temperatura na kluczowych etapach procesu

Po wyjęciu z pieca	Po przeniesieniu formatki do matrycy	Przed procesem hartowania	Gotowa wyłóczka
920°C	820°C	720°C	150°C

Na podstawie danych zaprezentowanych w tabl. II można stwierdzić, że temperatury na każdym kluczowym etapie procesu są prawidłowe i będzie on przebiegał poprawnie.

Wnioski

Projektowanie procesów technologicznych tłoczenia jest skomplikowane – musi uwzględniać wiele czynników technicznych związanych z obróbką plastyczną i cieplną. W kompleksowym podejściu do projektowania procesu bardzo pomocne jest wykorzystanie systemów CAx. Pozwalają one na sprawdzenie technologiczności wyłóczki, a analiza wyników symulacji procesu umożliwia weryfikację założeń procesu. Do projektowania procesów obróbki cieplno-plastycznej potrzebna jest wiedza z zakresu tłocznictwa oraz obróbki cieplnej, zwłaszcza hartowania, modelowania CAD, budowy modeli obliczeniowych MES. Wiedza ta pozwala na poprawne budowanie modeli obliczeniowych, właściwe definiowanie parametrów symulacji MES procesu oraz na poprawną i efektywną ocenę wyników. Praktyka inżynierska potwierdza, że bardzo trudne czy wręcz niemożliwe byłoby projektowanie tak skomplikowanych i nowoczesnych procesów wytwórczych bez wykorzystania nowoczesnych narzędzi CAx. Zaproponowany i opisany schemat postępowania podczas projektowania procesów tłoczenia na gorąco sprawdził się w praktyce przemysłowej.

LITERATURA

1. Karbasian H., Tekkaya A.E. "A review on hot stamping". *Journal of Materials Processing Technology*. 2010,
2. Erhardt R., Böke J. "Industrial application of hot forming press simulation". *1st International Conference on Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel*. Kassel, Germany, 2008.
3. Junying M., Jianping L., Jiayue L., Wenhua Bao B. "Investigation on hot forming limits of high strength steel 22MnB5". *Computational Materials Science*. 2010.
4. Neugebauera R., Schieckb F., Polsterb S., Mosela A., Rautenstraucha A., Schonherrb J., Pierschela N. "Presshardening – An innovative and challenging technology". *Archives of civil and mechanical engineering*. 2012.
5. Schonherrb A.J., Pierschela N. "Presshardening – An innovative and challenging technology". *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2012.
6. Rong Shean L., Yi Kai L., Chiena T. "Experimental and theoretical studies on formability of 22MnB5 at elevated temperatures by Gleeble simulator". *11th International Conference on Technology of Plasticity*. ICTP 2014.
7. Autoform help and tutorial.