

Symulacje procesów tłoczenia na gorąco wytłoczek o zmiennej grubości

Simulations of hot forming processes of variable thicknesses workpieces

IRENEUSZ WRÓBEL
DAMIAN FIRGANEK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.159>

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

Prezentowano metodykę analizy procesu wytwarzania – metodą tłoczenia na gorąco – wytłoczek o zmiennej grubości. Wykorzystano symulacje metodą elementów skończonych, przeprowadzone za pomocą specjalistycznego oprogramowania dla typowego elementu karoserii – podłużnicy. Zaprezentowano i omówiono wyniki symulacji. Sformułowano wnioski i zalecenia.

SŁOWA KLUCZOWE: tłoczenie blach, symulacja MES, tłoczenie na gorąco, zmienna grubość wytłoczki

Methodology of production process analysis – by means of hot forming – using workpieces of variable thickness, was presented. Finite element simulations were performed using specialized software for the typical car body element – the longitudinal longeron. The simulation results were presented and discussed as well as conclusions and recommendations were formulated.

KEYWORDS: hot forming, FEM simulation, variable thickness draw pieces

Proces technologiczny tłoczenia na gorąco (*hot forming*) jest obróbką cieplno-plastyczną. Polega on na formowaniu płaskiej, nagrzanej do temperatury austenizacji (ok. 930°C) formatki, z jednoczesnym hartowaniem powstałej w ten sposób wytłoczki. Cały proces odbywa się w jednym specjalistycznym narzędziu (tłoczniku). Dzięki temu uzyskuje się wytłoczkę o wysokich właściwościach mechanicznych: granicy plastyczności R_e od 1045 do 1100 MPa, granicy wytrzymałości R_m od 1450 do 1500 MPa i twardości od 450 do 500 HV.

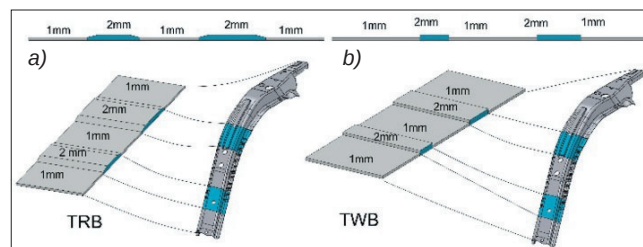
Części karoseryjne produkowane metodą tłoczenia na gorąco mogą mieć znacznie mniejszą masę, a zarazem bardzo dobre parametry wytrzymałościowe. Pozwoliło to na zmniejszenie masy samochodów osobowych nowej generacji o ok. 20% w porównaniu z wcześniejszymi modelami.

Bardzo istotną zaletą technologii tłoczenia na gorąco jest brak efektu sprężynowania powrotnego, który jest poważnym problemem technicznym w przypadku tłoczenia elementów karoserii z blach o wysokich parametrach wytrzymałościowych. Do produkcji wytłoczek technologią tłoczenia na gorąco wykorzystuje się stal Usibor 1500 i nowy gatunek Usibor 2000. Są to dobrze hartujące się stale, które przed obróbką cieplną mają strukturę ferrytyczno-perlityczną, natomiast po obróbce cieplnej – strukturę martenzytyczną.

Metoda tłoczenia na gorąco pozwala wytwarzać wytłoczki o zmiennej sztywności. Dzięki temu konstruktorzy karoserii mogą projektować specjalne strefy zgniotu lub miejsca, w których wytłoczka ulegnie deformacji (np. podczas wypadku). W ten sposób nowo projektowane samochody spełniają wyższe wymagania dotyczące bezpieczeństwa.

Jest kilka metod uzyskania wytłoczki o określonej (zmiennej) sztywności. Jedną z tych metod jest zastosowanie formatki o zmiennej grubości, co można uzyskać przez:

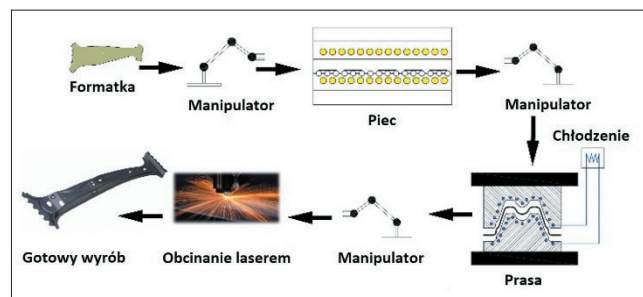
- wykorzystanie taśmy blachy (dostarczonej przez hutę) o zmiennej grubości – blacha jest walcowana tak, aby uzyskać wymaganą grubość blachy w odpowiednim rejonie taśmy (*taylored rolled blank – TRB*) (rys. 1a),
- wykorzystanie 2 lub więcej taśm o różnej grubości, które spawa się ze sobą laserowo, aby uzyskać taśmę o zmiennej grubości (*taylored welded blank – TWB*) (rys. 1b).



Rys. 1. Blachy o zmiennej grubości: a) walcowana, b) spawana laserowo (opracowanie: I. Wróbel)

Z tak powstałej taśmy wycina się formatki, z których produkowane są wytłoczki o zmiennej sztywności.

Proces technologiczny tłoczenia na gorąco rozpoczyna się od operacji wykrojenia płaskiej formatki w odpowiednim kształcie, który jest rozwinięciem wytłoczki na płasko. Formatka jest przenoszona do pieca, gdzie następuje jej nagrzanie do temperatury austenizacji (920÷940°C), a następnie trafia do zamocowanego w prasie tłocznika. W dalszej kolejności następuje zamknięcie stempla z matrycą oraz ich docisk trwający kilka sekund (3÷5 s). W tym czasie wytłoczka szybko się ochładza i zachodzi przemiana martenzytyczna. Po schłodzeniu wytłoczki do temperatury ok. 150°C następuje otwarcie tłocznika i kolejny manipulator podaje gotową wytłoczkę na specjalny przenośnik taśmowy. Dalszym etapem produkcji jest obcinanie laserowe tych krawędzi lub otworów, które mają wyższą tolerancję wykonania. Na końcu wytłoczka jest pakowana i wysyłana do odbiorcy. Proces ten schematycznie przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat procesu tłoczenia na gorąco (opracowanie: I. Wróbel)

* Dr hab. inż. Ireneusz Wróbel (iwrobel@ath.bielsko.pl) – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej; mgr inż. Damian Firganek (dfirganek@polmotors.com.pl) – Polmotors Sp. z o.o.

Cel analizy

Proces tłoczenia wytłoczek o zmiennej grubości powinien być tak zaprojektowany, aby finalny wyrób nie miał wad w postaci pęknięć lub zmarszczek, był wykonany z odpowiednią dokładnością kształtowo-wymiarową (podobnie jak w tłoczeniu na zimno), miał pożądane właściwości mechaniczne (wytrzymałość i twardość) oraz strukturę metalograficzną (martenzyt). Aby spełnić te wymagania, niezbędne jest przeprowadzenie komputerowej symulacji projektowanego procesu.

Danymi wejściowymi w procesie tłoczenia na gorąco są: formatka (ze zmienną grubością w odpowiednich rejonach), kształt formatki, temperatura formatki po wyjściu z pieca, czas przenoszenia z pieca do tłocznika, czas formowania oraz czas hartowania, siła docisku prasy podczas hartowania, temperatura końcowa wytłoczki, prędkość przesuwu elementów tłocznika (stempla, docisków). Komputerowe analizy procesu tłoczenia na gorąco wytłoczek o zmiennej grubości przeprowadza się z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania, takiego jak: Autoform, PAmStamp czy DynaForm. Oprogramowanie bazuje na bardzo popularnej metodzie elementów skończonych. Schemat postępowania podczas wykonywania analizy procesu tłoczenia na gorąco został szerzej omówiony w publikacji [1]. Ten schemat można z powodzeniem zastosować w analizie procesu tłoczenia na gorąco wytłoczek o zmiennej grubości.

Analiza procesu tłoczenia na gorąco podłużnicy

Na rys. 3 przedstawiono model CAD wytłoczki, dla której zaproponowano odpowiedni proces technologiczny tłoczenia na gorąco. Wytłoczka składa się z 3 elementów (połączonych spawem laserowym) o 2 różnych grubościach: 1,4 mm i 2 mm. Pierwszą czynnością w ramach projektowania procesu wytwarzania wytłoczki jest przeprowadzenie analizy wykonalności. Polega to na wyznaczeniu optymalnego kierunku otwarcia tłocznika oraz analizie geometrii wytłoczki pod względem możliwości jej wytworzenia metodą tłoczenia.

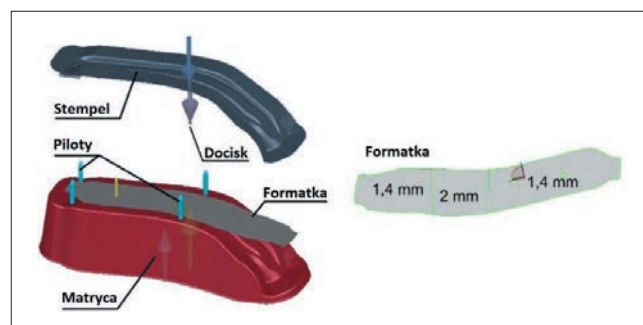
Na rys. 4 przedstawiono wyniki tej analizy w postaci warstwic. Kolor zielony oznacza, że wszystkie kąty mierzone względem kierunku otwarcia tłocznika mają poprawne wartości, kolorem żółtym oznaczono obszary mające wartości graniczne tych kątów, natomiast kolor

czerwony oznacza, że w tych rejonach należy zmienić kształt wytłoczki. W przypadku analizowanej części warstwa w kolorze zielonym zajmowała 100% powierzchni wytłoczki.

Na kolejnym etapie opracowano założenia do procesu technologicznego oraz koncepcję narzędzi. W tym przypadku przyjęto, że narzędzie będzie się składało z matrycy stempla i docisku, a proces kształtowania wytłoczki będzie się odbywał w następującej sekwencji: najpierw docisk zamknie i spozycjonuje formatkę w matrycy, a następnie stempel zamknie się z formatką na matrycy. Założono odpowiednie siły docisku pomiędzy dociskiem i matrycą oraz stemplem i matrycą, a także odpowiednie odległości pomiędzy elementami narzędzia. Aby zapobiec niekontrolowanemu przesuwaniu się formatki podczas tłoczenia, zaplanowano bazowanie formatki w matrycy na jej zarysie za pomocą 4 kołków bazujących (tzw. pilotów) oraz w technologicznym otworze, w którym założono pojedynczy kołek bazujący. Dla takiej koncepcji narzędzia opracowano modele CAD matryc, stempli, docisków oraz kołków bazujących (rys. 5). Na podstawie modeli CAD narzędzi opracowano modele dyskretnie (MES). Elementy narzędzia (matrycę, stempel, docisk i piloty) zamodelowano jako sztywne, a formatkę, która jest podatna, zamodelowano elementami powłokowymi.

Następny etap analizy procesu technologicznego tłoczenia na gorąco obejmował zdefiniowanie parametrów procesu. Parametry te można podzielić na 3 grupy:

- parametry związane z piecem (temperatura formatki, czas wygrzewania) i przenoszeniem formatki z pieca do matrycy (czas przenoszenia z pieca do matrycy i temperatura otoczenia),
- parametry związane z procesem tłoczenia (kinematyka i naciski prasy),
- parametry związane z procesem hartowania (siły docisku stempla do matrycy, czas hartowania oraz temperatura końcowa wytłoczki).



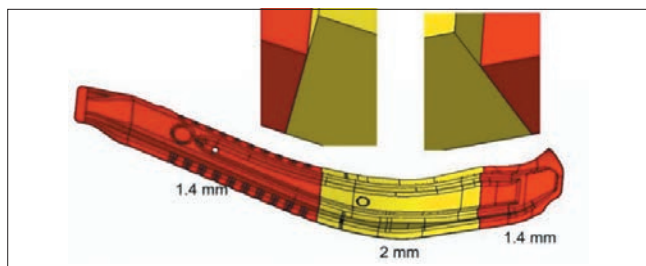
Rys. 5. Modele CAD narzędzia (opracowanie: I. Wróbel)

Po zdefiniowaniu modeli MES narzędzi i formatki oraz kinematyki, parametrów mechanicznych i cieplnych procesu wykonano analizę MES z wykorzystaniem solvera Autoform.

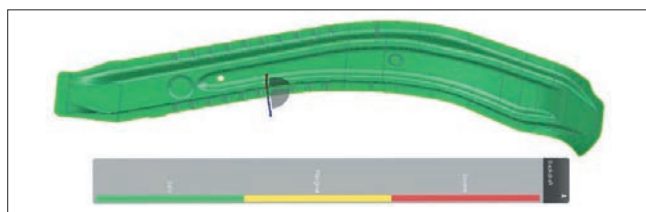
Wyniki analizy

Do podstawowych wyników symulacji, które są analizowane przez inżynierów, można zaliczyć:

- warstwie pocienień materiału wytłoczki,
- tzw. warstwie FLD (*forming limit diagram*),
- warstwie z rozkładem twardości i rozkładem martenzytu w wytłoczce,
- temperaturę w kluczowych momentach procesu,
- deformację wytłoczki na poszczególnych etapach procesu tłoczenia.



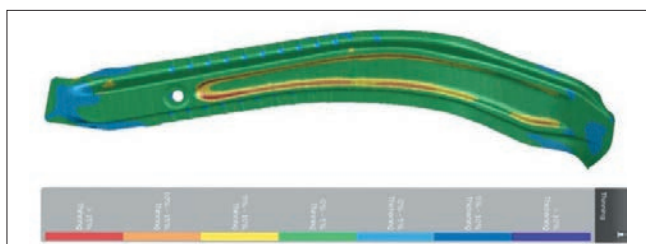
Rys. 3. Model CAD wytłoczki o zmiennej grubości (opracowanie: I. Wróbel)



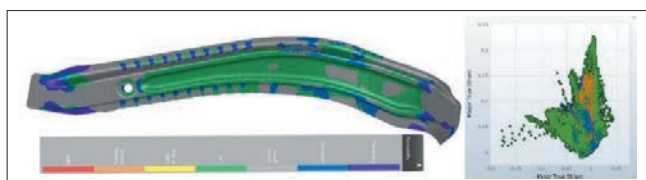
Rys. 4. Wyniki analizy geometrii wytłoczki pod względem wykonalności (opracowanie: I. Wróbel)

Na rys. 6 przedstawiono warstwicę pocienienia wytłoczki. Przyjmuje się, że dla materiału 22MnB5 maksymalne pocienienie nie powinno przekroczyć 18%. W analizowanym przypadku ten warunek został spełniony.

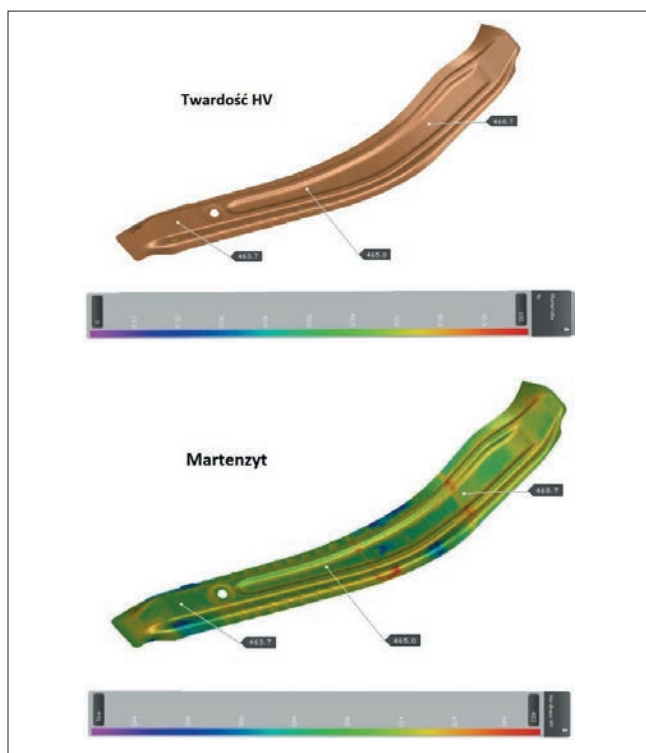
Na rys. 7 przedstawiono warstwicę FLD, które obrazują sposób zachowania się materiału podczas procesu tłoczenia. Na podstawie analizy tego rysunku można stwierdzić, że na wytłoczce nie ma obszarów, w których istnieje ryzyko pęknięcia materiału lub jego nadmiernego rozciągania. Na większości obszaru (ponad 70%) materiał nie ulega rozciągnięciu bądź rozciąga się w bezpiecznym zakresie. Obszar ściskany stanowi ok. 27% pola powierzchni wytłoczki. W skrajnych przypadkach może to powodować powstanie zmarszczek, zwłaszcza gdy pogrubienie materiału jest większe niż 15% (rys. 5).



Rys. 6. Warstwicę pocienienia wytłoczki (opracowanie: I. Wróbel)



Rys. 7. Warstwicę FLD wytłoczki (opracowanie: I. Wróbel)



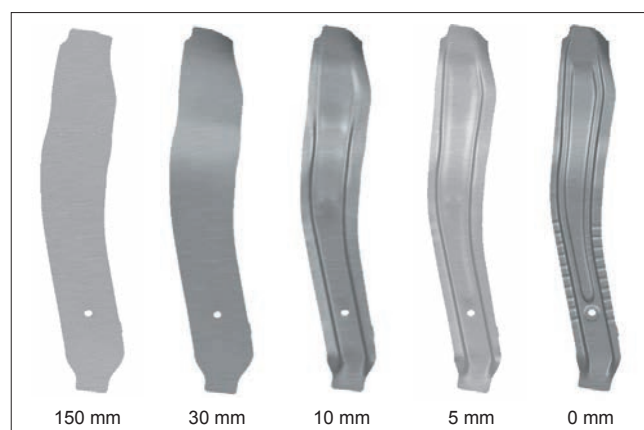
Rys. 8. Warstwicę twardości i martenzytu (opracowanie: I. Wróbel)

TABLICA. Temperatura na kluczowych etapach procesu

Po wyjęciu z pieca	Po przeniesieniu formatki do matrycy	Przed hartowaniem	Gotowa wytłoczka
930°C	830°C	740°C	140°C

Ważnymi wynikami symulacji procesu tłoczenia na gorąco są warstwicę, obrazujące procent martenzytu wytworzonego podczas hartowania oraz twardość, do jakiej za hartowała się wytłoczka (warstwicę tę przedstawiono na rys. 8), a ponadto: temperatura formatki i wytłoczki na kluczowych etapach procesu – po wyjęciu z pieca, po przeniesieniu formatki z pieca do matrycy, przed procesem hartowania, po procesie tłoczenia i hartowania (tablica). Analizując dane zaprezentowane w tablicy, można stwierdzić, że temperatura na każdym etapie jest prawidłowa i proces będzie miał poprawny przebieg.

Proces kształtowania się wytłoczki w zależności od odległości matrycy od stempla pokazano na rys. 9. Na jego podstawie można sprawdzić, czy na jakimś etapie formowania nie następuje zbyt duża tendencja do powstawania zmarszczek, które potem mogą zostać zagniecione. W analizowanym przypadku nie zachodzi takie niebezpieczeństwo.



Rys. 9. Proces kształtowania się wytłoczki w zależności od odległości stempla od matrycy (opracowanie: I. Wróbel)

Wnioski

Wykorzystanie komputerowych systemów MES do analizy procesów wytwarzania pozwala na weryfikację technicznych i technologicznych założeń do skomplikowanego procesu, jakim jest tłoczenie na gorąco wytłoczek o zmiennej grubości. W tej analizie należy wziąć pod uwagę czynniki związane z obróbką plastyczną i cieplną. Wykorzystując narzędzia CAx, można zaprojektować i zweryfikować poprawność takiego procesu.

Zaproponowany w artykule schemat postępowania został zweryfikowany w praktyce przemysłowej.

LITERATURA

- Wróbel I. „Symulacja MES procesów tłoczenia na gorąco”. *XXI Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji*. Jurata, 2017.
- 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.
- Minjung K., Young-Min K., Cheolhee K. „Effect of heating parameters on laser welded tailored blanks of hot press forming steel”. *Journal of Materials Processing Technology*. 228 (2016): s. 137–144.
- Choi J.W., Lee M.G., Barlat F., Son H.S., Nam J.B. „Hot press forming of tailor welded blank: experiments and FE modeling”. *ISIJ*, 2012.
- Merkleina M., Wielanda M., Lechnera M., Bruschib S., Ghiottib A. „Hot stamping of boron steel sheets with tailored properties”. *Journal of Materials Processing Technology*. 228 (2016): s. 11–24.
- Mori K., Okuda Y. „Tailor die quenching in hot stamping for producing ultra-high strength steel formed parts having strength distribution”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 59 (2010): s. 291–294.
- Autoform help and tutorial.