

Ocena wpływu parametrów modelu materiałowego na jakość projektowanych wytłoczek

Evaluation of the influence of material model parameters on quality of designed drawpieces

JACEK STADNICKI
IRENEUSZ WRÓBEL *

Materiały z XX SKWPWiE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.190

Symulacje komputerowe tłoczenia blach na zimno zazwyczaj przeprowadza się dla modeli materiałowych dostarczonych przez producentów oprogramowania. W artykule porównano wyniki symulacji tłoczenia przykładowej części nadwozia samochodowego ze stali S420MC dla trzech zestawów parametrów modelu materiałowego odpowiadających wymaganiom normy, w tym wyznaczonych doświadczalnie dla konkretnej dostawy. Oceniono wpływ tych parametrów na ryzyko wystąpienia wad w wytłoczce na podstawie diagramów FLD, stwierdzając istotny ich wpływ zwłaszcza na ryzyko powstawania pęknięć wytłoczki. Sformułowano zalecenia do projektowania tłoczników.

SŁOWA KLUCZOWE: tłoczenie blach, symulacja MES, model materiałowy

Computer simulation of cold metal forming is usually performed using material models delivered by software makers. Results of simulations of metal forming of an exemplary car body part made of S420MC steel for three sets of material model parameters which are suited to the needs of standard, among them for the parameters fixed experimentally for the specified delivery, are compared in the paper. The influence of material model parameters on risk of the drawpiece defects appearance basing on FLD diagrams has been evaluated. The essential influence of the material model parameters especially on the risk of cracks of the drawpiece appearance has been stated. Some advices to stamping die designing have been formulated

KEYWORDS: sheet-metal forming, FEM simulation, material model

Struktury nośne nadwozi samochodów osobowych są wytwarzane z blaszanych wytłoczek trwale połączonych zgrzewaniem. W popularnych samochodach wytłoczki niemal wyłącznie produkuje się z blach stalowych, większość z nich kształtowana jest w procesach tłoczenia na zimno. Niektóre szczególnie istotne wytłoczki kształtuje się z wykorzystaniem technologii *hot forming*, będącej połączeniem tradycyjnej technologii tłoczenia z hartowaniem w jednej operacji. Do wytwarzania wytłoczek technologią tłoczenia na zimno stosuje się aktualnie specjalnie opracowane dla motoryzacji stale niskowęglowe określane mianem stali o super wysokiej wytrzymałości (*advanced high strength steel*). Przedmiotem analizy w artykule jest typowa wytłoczka wykonana ze stali S420MC należącej do tej grupy stali. Jest to jedna z powszechniej stosowanych stali do produkcji wytłoczek dla motoryzacji. Skład chemiczny stali S420MC jest następujący: C do 0,1%, Mn do 0,9%, Si do 0,2%, P do 0,02%, S do 0,012%, Al 0,01 do 0,08%, Nb 0,012 do 0,06%, V 0,012 do 0,08%, Ti do 0,1%. Blachy z tej stali zależnie od grubości walcuje się na zimno (do grubości 1,75 mm) lub gorąco. Według certyfikatu producenta zgodnego z normą EN 10204 3.1 blacha S420MC ma wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 480$ do 580 MPa, minimalną granicę plastyczności $R_e = 420$ MPa, minimalne wydłużenie ekstensometryczne plastyczne przy największej sile $A_g = 17\%$.

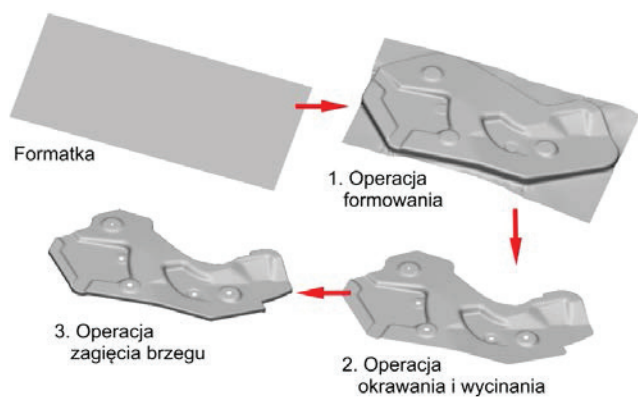
W celu uzyskania sztywnych i wytrzymałych a równocześnie lekkich struktur nośnych nadwozi samochodów osobowych ich konstruktorzy projektują je jako połączenia wytłoczek o coraz bardziej skomplikowanych kształtach, często z głębokimi przetłoczeniami. Aby spełnić te wymagania, konstruktorzy narzędzi do tłoczenia muszą je tak projektować, aby w jak największym stopniu wykorzystać wytrzymałość blachy i jej cechy plastyczne. Pozostaje niewielki margines bezpieczeństwa, po przekroczeniu którego ryzyko otrzymania wytłoczki z pęknięciami lub zmarszczeniami jest duże. Jednym ze sposobów zmniejszenia ryzyka powstawania braków w produkcji jest wykorzystywanie podczas projektowania tłoczników specjalistycznego oprogramowania do symulowania procesów tłoczenia. Zazwyczaj jednak podczas projektowania do symulacji przyjmuje się parametry modelu materiałowego blachy według danych biblioteki materiałów dostarczonej wraz z oprogramowaniem, a więc nominalne wartości tych parametrów. Problem doświadczalnego wyznaczania parametrów modelu materiałowego blachy S420MC dla konkretnej dostawy omówiono szerzej w artykule [1]. W niniejszym artykule przeanalizowano wpływ rozrzutu parametrów modelu materiałowego w granicach tolerancji określonych warunkami dostawy na ryzyko wystąpienia wad w postaci pęknięć i zmarszczeń wytłoczki. Analizę przeprowadzono na podstawie symulacji numerycznych tłoczenia na etapie projektowania tłocznika.

Symulacja tłoczenia przykładowej wytłoczki

Inżynierowie projektanci procesów i narzędzi do obróbki plastycznej do weryfikacji swoich założeń projektowych wykorzystują wyspecjalizowane komputerowe programy oparte na metodzie elementów skończonych do analizy i symulacji procesów obróbki plastycznej, takie jak: PamStamp, AutoForm, DynaForm. Dysponując trójwymiarowymi modelami geometrycznymi matryc, stempli i docisków przeprowadza się symulację całego procesu wytwarzania wytłoczki, począwszy od wykrawania formatki, poprzez wszystkie operacje tłoczenia, na okrawaniu kończąc. Wynikiem symulacji tłoczenia są wykresy warstwiczne grubości blachy (pocienień i spęczeń) wytłoczki oraz wykresy krzywych granicznych tłoczenia FLD (*forming limit diagram*). Analizując zmiany grubości, można zlokalizować te obszary, w których pocienienie jest nadmierne, zatem występuje ryzyko pęknięcia blachy wytłoczki. Natomiast na wykresach FLD można zlokalizować zarówno obszary, w których istnieje ryzyko pęknięcia, jak i te, w których jest duże ryzyko wystąpienia zmarszczeń. Wytłoczka, w której wystąpiły pęknięcia lub zmarszczenia, jest wadliwa. W takim przypadku należy zmienić proces i/lub narzędzie do tłoczenia. Najczęściej koryguje się kształt, np. poprzez zmianę promieni zaokrągleń lub nieznacznie zmiany powierzchni bocznych stempli i/lub matrycy bądź docisków. Jeśli jest to dopuszczalne, korekcie poddaje się także samą wytłoczkę.

Obiektem analizy jest przykładowa wytłoczka – część nadwozia samochodowego. Wytłoczka ta była wytwarzana w trzech

* Prof. dr hab. inż. Jacek Stadnicki (jstadnicki@ath.bielsko.pl); dr inż. Ireneusz Wróbel (iwrobel@ath.bielsko.pl) – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej



Rys. 1. Proces wytwarzania analizowanej wytłoczki

operacjach pokazanych na rys. 1. W pierwszej operacji następowało formowanie kształtu wytłoczki, w drugiej obcinano obrys wytłoczki i wykonywano otwory, a w trzeciej zaginano brzeg wzdłuż obrisu wytłoczki. Dla każdej operacji kształtowania wytłoczki zaprojektowano trójwymiarowe modele CAD matryc, stempli i docisków, a dla operacji okrawania i dziurowania wykonano modele krawędzi tnących. Opracowano modele dyskretne MES formatki, matryc, stempli i docisków oraz zamodelowano kinematykę procesu, zadając ruch stempla. Następnie przeprowadzono symulację całego procesu wytwarzania wytłoczki z wykorzystaniem oprogramowania PamStamp. Symulację tłoczenia przeprowadzono dla następujących reprezentatywnych zbiorów parametrów modelu materiałowego:

- **materiał A:** którego parametry przyjęto zgodnie z wartościami w bibliotece modeli materiałowych programu PamStamp (w tym $Re = 490$ MPa, $Rm = 553$ MPa),
- **materiał B:** którego parametry przyjęto na podstawie badań doświadczalnych (próby jednoosiowego rozciągania), próbek wyciętych na drutówce z konkretnego zwoju blachy, z którego wykonywano wytłoczkę [1] ($Re = 468$ MPa, $Rm = 522$ MPa),
- **materiał C:** którego parametry odpowiadały materiałowi o maksymalnych wartościach granicy plastyczności oraz wytrzymałości przewidzianych normą EN 10204 3.1 ($Re = 420$ MPa, $Rm = 580$ MPa).

Wyniki symulacji

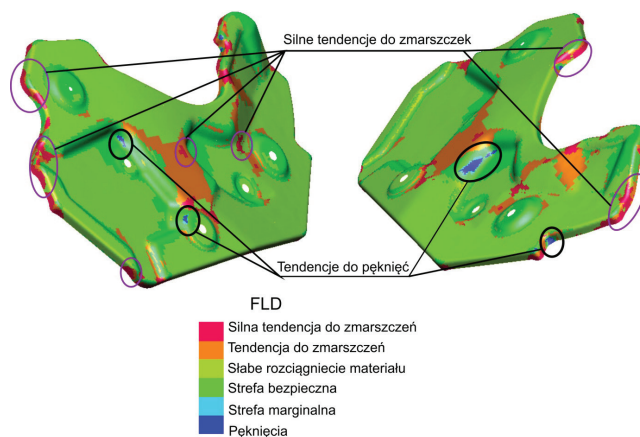
Inżynierowie zajmujący się projektowaniem narzędzi do obróbki plastycznej (tłoczników) rozróżniają dwa podstawowe rodzaje wad wytłoczek, których ryzyko wystąpienia ocenia się podczas symulacji:

- pęknięcia – które są wadą dyskwalifikującą wytłoczkę,
- zmarszczenia – które nie zawsze są wadą dyskwalifikującą wytłoczkę; jeśli występują w miejscach nieistotnych z uwagi na funkcjonowanie wytłoczki lub ich wysokość nie przekracza wartości określonych jako dopuszczalne w dokumentacji technicznej, są dopuszczalne.

Na etapie projektowania procesu technologicznego i konstruowania tłoczników ryzyko wystąpienia powyższych wad można określić z pomocą programów MES do symulowania procesów tłoczenia. Na rys. 2 przedstawiono przykładowe wyniki symulacji tłoczenia analizowanej w artykule wytłoczki dla **materiału A** w formie warstwic diagramu FLD na modelu geometrycznym wytłoczki.

Analizując rys. 2, można określić miejsca, w których wytłoczka pęknie (kolor niebieski). Oznacza to, że dla **materiału A**, wytłoczka będzie miała dyskwalifikujące wady.

Aby wpływ parametrów modelu materiałowego na jakość projektowanej wytłoczki, podobne symulacje przeprowadzono dla modelu materiałowego **C**. W tabelicy zestawiono wartości udziałów pól powierzchni stref diagramu FLD w polu powierzchni całej wytłoczki dla **materiałów A, B i C**. Można

Rys. 2. Rozmieszczenie stref ryzyka wystąpienia wad wytłoczki z **materiału A**

zauważyć, że najmniejsze ryzyko pęknięcia wytłoczki wystąpiło dla **materiału B** (0,06% całkowitego pola powierzchni wytłoczki stanowią strefy z możliwymi pęknięciami). Natomiast największe ryzyko pęknięć wystąpiło dla **materiału A** (0,35% pola powierzchni całkowitej wytłoczki). Tendencja do powstawania zmarszczeń jest podobna dla wszystkich trzech modeli, a dla tej wytłoczki nie jest to wada dyskwalifikująca.

TABLICA. Zestawienie udziałów procentowych pól powierzchni stref diagramu FLD w polu powierzchni całej wytłoczki dla modeli A, B i C

Strefa diagramu FLD	Materiał A	Materiał B	Materiał C
Silna tendencja do zmarszczeń	4,15%	4,38%	4,57%
Pęknięcia	0,35%	0,06%	0,09%

Podsumowanie

Symulacje tłoczenia najczęściej przeprowadza się dla modeli materiałowych dostarczanych przez producentów oprogramowania – **materiał A**. Analizując uzyskane wyniki, można stwierdzić, że dla stali AHSS – reprezentatywnej dla wytłoczek dla motoryzacji, wyniki symulacji mogą się istotnie różnić – jeżeli zamiast **materiału A** przyjmie się parametry modelu materiałowego wyznaczone na podstawie badań doświadczalnych materiału z konkretnej dostawy – **materiał B**. Dla analizowanej wytłoczki ryzyko wystąpienia pęknięć, które są wadą dyskwalifikującą, wyrażone udziałem pola powierzchni z możliwymi pęknięciami do pola powierzchni całej wytłoczki, zmniejszyło się z 0,35% do 0,06%, czyli prawie sześciokrotnie. Warto dodać, że wartość 0,06% jest na tyle mała, że można ją uznać, za skutek lokalnych niedoskonałości dyskretnego modelu MES, co potwierdziła praktyka produkcyjna.

Ponieważ wszystkie analizowane **materiały A, B i C** odpowiadały wymaganiom normy EN 10204 3.1, a mimo to różnice w parametrach modeli materiałowych skutkowały istotnie różnym ryzykiem występowania wad wytłoczki, można sformułować następujące zalecenia dla konstruktorów tłoczników do podobnych wytłoczek ze stali AHSS:

- tolerancje parametrów modelu materiałowego powinny być uwzględniane przy projektowaniu tłoczników dla motoryzacji,
- jeśli określony producent dostarcza blachę o parametrach modelu materiałowego o niewielkim rozrzucie, to należy doświadczalnie wyznaczyć te parametry, uwzględnić je w symulacji tłoczenia i projektowaniu tłocznika i dopiero wtedy ocenić ryzyko wystąpienia wad wytłoczki.

LITERATURA

1. Stadnicki J., Wróbel I. „Doświadczalne wyznaczanie parametrów modelu materiałowego do symulacji tłoczenia blach na zimno”. *Mechanik*, 2016.
2. Hill R.A. “A theory of the fielding and plastic flow of anisotropic metals”. *Proceedings Royal Societies of London* 1948/A193: 85÷145.
3. *PamStamp* tutorial; <http://www.esi.com.au/Software/pamstamp.html>. ■