

# Analiza MES procesu tłoczenia na gorąco słupka B z nakładką

## FEM analysis of the hot stamping process of the B-pillar with patch

IRENEUSZ WRÓBEL \*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.7.49>

W artykule przedstawiono analizę procesu tłoczenia na gorąco słupka B z nakładką. Do tego celu opracowano specjalny model dyskretny formatki i nakładki, uwzględniający połączenie zgrzewane oraz dwa typy elementów kontaktowych. Wykonano symulację procesu tłoczenia na gorąco i opracowano wyniki symulacji. Sformułowano wnioski.

**SŁOWA KLUCZOWE:** tłoczenie blach na gorąco, słupek B, analiza MES

*The article presents the analysis of the hot stamping process of the B-pillar with patch. Special model of discrete blank and patch has been developed, taking into account the welded connection and two types of contact elements. The simulation of the hot stamping process was carried out and the simulation results were developed. The conclusions were formulated.*

**KEYWORDS:** hot forming, B-pillar, FEM simulation

### Wprowadzenie

Konstruktorzy samochodów osobowych nowej generacji dążą do jak największej redukcji masy karoserii. Ten trend jest związany z ograniczaniem emisji spalin samochodów z silnikami spalinowymi oraz bilansowaniem masy akumulatorów samochodów z napędem elektrycznym. Jednocześnie karoseria nowoczesnego samochodu musi spełniać wysokie wymagania dotyczące bezpieczeństwa kierowcy i pasażerów. Wybrane elementy karoserii, bezpośrednio odpowiedzialne za bezpieczeństwo kierowcy i pasażerów, projektuje się tak, aby podczas zderzenia ulegały deformacji zgodnie z przewidywaniami projektanta i pochłaniały energię zderzenia. Przykładem takiego elementu jest słupek B karoserii samochodowej, usytuowany między przednimi a tylnymi drzwiami karoserii samochodu i mający za zadanie pochłanianie energii uderzenia bocznego. Ten element najczęściej wytwarza się w technologii tłoczenia na gorąco [1].

Słupek B współczesnego samochodu ma strefy o różnej sztywności. Można je uzyskać na kilka sposobów. Jednym z nich jest zgrzanie płaskiej nakładki z płaską formatką i ukształtowanie ich razem w procesie tłoczenia na gorąco. Dzięki temu osiąga się większą sztywność słupka B w rejonie nakładki.

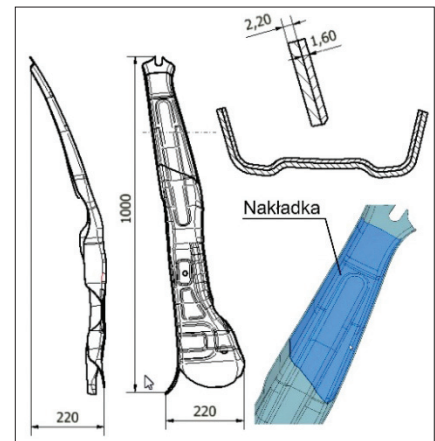
Analizy MES procesu tłoczenia na gorąco wytłoczek z nakładką, opisywane dotychczas w literaturze przedmiotu, nie uwzględniały ani zjawisk kontaktowych zachodzących między nakładką a formatką, ani połączeń zgrzewanych [2]. W modelach dyskretnych połączenie między formatką a nakładką modelowano jako kontakt związany (*bonded*), przez co nakładka była na stałe związana z formatką i nie miała możliwości przemieszczania się względem formatki.

Celem badań przedstawionych w niniejszym artykule było porównanie wyników symulacji procesu tłoczenia na gorąco słupka B, uwzględniających różne sposoby modelowania interakcji formatki z nakładką (dwa różne typy elementów kontaktowych). W ramach prac badawczych przygotowano modele CAD i modele dyskretny MES formatki oraz nakładki, a także modele CAD i modele dyskretny MES powierzchni roboczych tłoczniaka realizującego proces tłoczenia na gorąco.

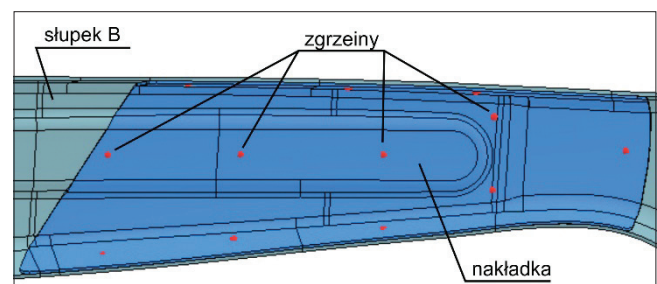
### Budowa modeli CAD i modeli dyskretnych na potrzeby analizy

Na rys. 1 przedstawiono model CAD słupka B, który poddano analizie. Ten słupek jest wykonany z blachy o grubości 2,2 mm i ma nakładkę o grubości 1,6 mm. Nakładka jest połączona ze słupkiem za pomocą połączeń zgrzewanych w 12 punktach, co pokazano na rys. 2.

W pierwszej kolejności na bazie modelu powierzchniowego słupka B opracowano model CAD narzędzia. Ten model zaimportowano do oprogramowania PamStamp i na jego podstawie zbudowano modele dyskretny matrycy, stempla i docisku (rys. 3). Narzędzia podzielono na czterowęzłowe, sztywne elementy skończone typu Shell 4.



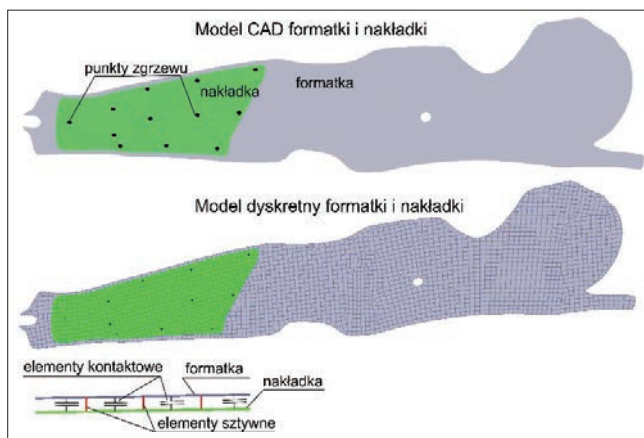
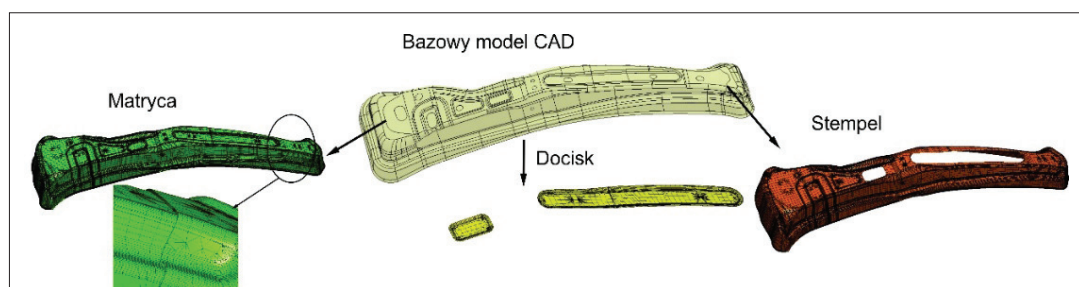
Rys. 1. Model CAD słupka B



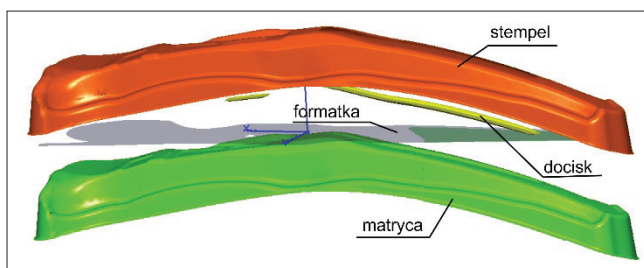
Rys. 2. Nakładka połączona ze słupkiem B za pomocą zgrzein

\* Dr hab. inż. Ireneusz Wróbel, iwrobel@ath.bielsko.pl, <https://orcid.org/0000-0002-7587-0217> – Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała, Polska

Rys. 3. Model bazowy narzędzia oraz modele dyskretne matrycy, stempla i docisku



Rys. 4. Model dyskretny formatki z nakładką – z elementami kontaktowymi oraz elementami sztywnymi



Rys. 5. Model dyskretny narzędzia

Następnie wyznaczono kształt formatki i nakładki oraz obliczono współrzędne 12 punktów, w których znajdują się zgrzeiny (rys. 4). Do tego celu wykorzystano specjalistyczny moduł oprogramowania NX. W systemie PamStamp [5] opracowano model dyskretny formatki z nakładką. Pomiędzy formatką i nakładką zdefiniowano dwa rodzaje kontaktu: kontakt związany typu *bonded* oraz kontakt z tarcieniem ( $\mu = 0,4$ ).

Połączenia zgrzewane w modelu uwzględniającym kontakt z tarcieniem zamodelowano jako jednowymiarowe połączenie sztywne pomiędzy modelem dyskretnym nakładki i formatki. W modelu z kontaktem związanym nie było potrzeby modelowania połączeń zgrzewanych, ponieważ formatka i nakładka są na stałe ze sobą związane.

Formatkę i nakładkę podzielono na czterowęzłowe, podane elementy skończone typu Shell 4. Założono możliwość czterokrotnego zagęszczenia siatki w miejscach, gdzie następuje duża zmiana kształtu podczas symulacji procesu tłoczenia na gorąco. Elementy narzędzia – stempel, matrycę i docisk – zamodelowano za pomocą płaskich, sztywnych, czterowęzłowych elementów typu Shell 4. W efekcie powstał model narzędzia i formatki (rys. 5).

Zdefiniowano również kinematykę pracy narzędzia i parametry tłoczenia na gorąco. Proces tłoczenia słupka B przebiega w dwóch sekwencjach: najpierw docisk zamyka formatkę na matrycy, a następnie stempel, przesuując się w stronę matrycy, kształtuje całą wyłoczkę. Założono,

że temperatura formatki przed procesem tłoczenia jest równa  $750^{\circ}\text{C}$ , a temperatura narzędzi –  $100^{\circ}\text{C}$ . Model dyskretny poddano analizie w oprogramowaniu PamStamp.

## Wyniki analizy

Podstawowymi wynikami analizy procesu tłoczenia na gorąco, badanymi przez inżynierów zajmujących się tą technologią, są: warstwy pocienienia wyłoczek, warstwy FLD, warstwy rozkładów twardości i martenzytu.

Na rys. 6 przedstawiono warstwy i histogramy pocienienia wyłoczek dla modeli z kontaktem związanym oraz z kontaktem z tarcieniem. W modelu z tarcieniem, w obszarze, gdzie znajduje się nakładka, można zaobserwować nieznacznie większe obszary z większą wartością pocienienia, nieprzekraczającą jednak wartości krytycznych dla stali, z której wykonano słupki B (15%).

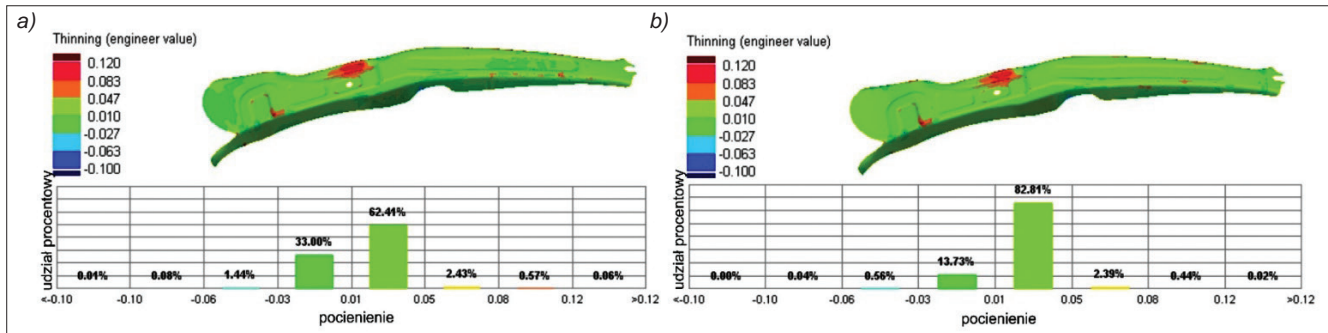
Na rys. 7 przedstawiono warstwy i histogramy FLD. Obrazują one ryzyko powstawania zmarszczek i pęknięć, które dla obu analizowanych modeli jest bardzo podobne. Nie stwierdzono ryzyka powstawania pęknięć.

Na rys. 8 przedstawiono warstwy i histogramy twardości HV. W przypadku obu analizowanych modeli twardość wyłoczek w całej jej objętości przekracza wymaganą wartość  $400\text{ HV}$ . W modelu z kontaktem związanym, w obszarze, gdzie znajduje się nakładka, twardość jest mniejsza (ok.  $475\text{ HV}$ ) niż w modelu z kontaktem z tarcieniem (ok.  $500\text{ HV}$ ).

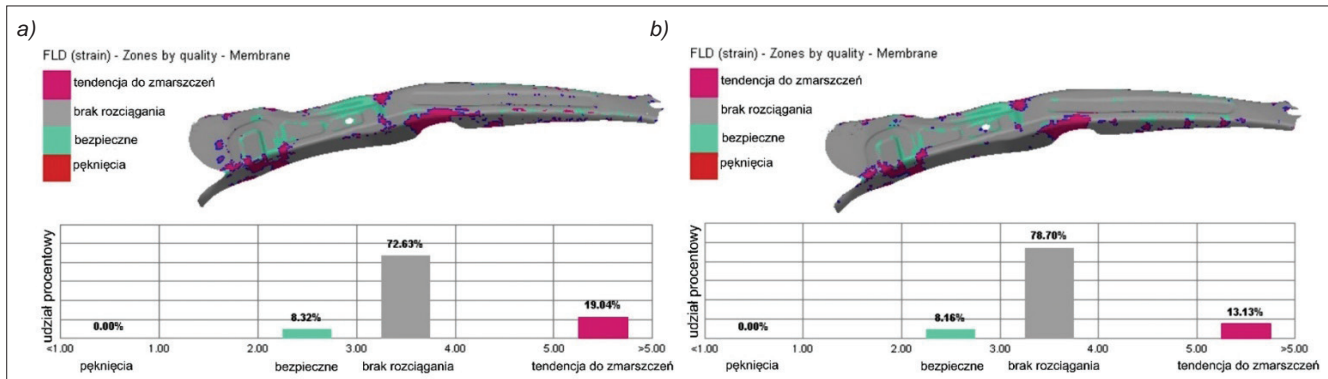
Aby sprawdzić, jak zachowuje się formatka z nakładką w przypadku, gdy są one połączone ze sobą tylko w dwóch punktach, wykonano dodatkowy model. Interakcję nakładki z formatką zamodelowano jako kontakt z tarcieniem. Na rys. 9 przedstawiono wyniki deformacji formatki z nakładką w czasie jej kontaktu z dociskiem dla modeli: z kontaktem związanym oraz z kontaktem z tarcieniem i dwiema zgrzeinami. Można zauważyć, że model z kontaktem z tarcieniem pozwala na uwzględnienie zjawiska odklejenia i przemieszczenia się nakładki względem formatki, zwłaszcza wtedy, gdy zgrzein jest zbyt mało.

## Wnioski

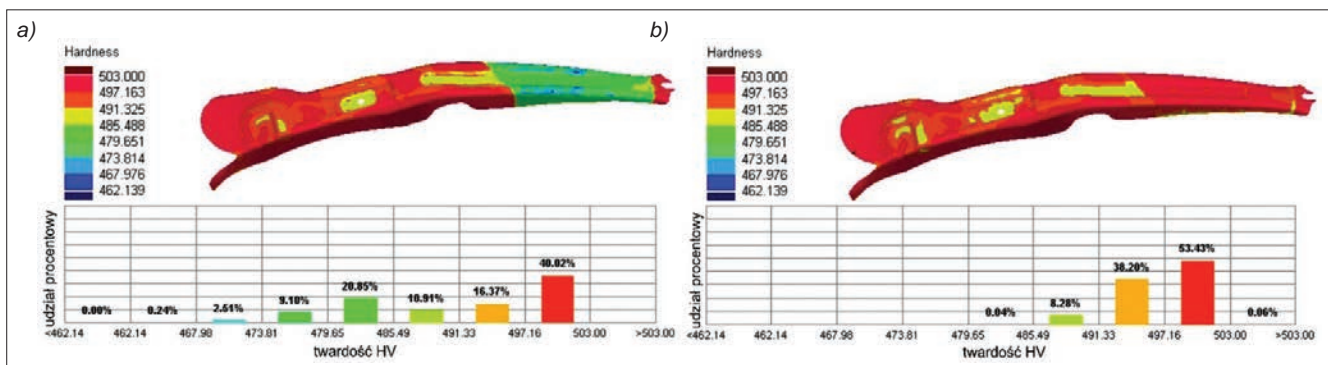
- Największy wpływ sposobu modelowania kontaktu między formatką a nakładką można zaobserwować w przypadku analizy deformacji formatki i nakładki podczas procesu tłoczenia. Model z kontaktem z tarcieniem pozwala na oddzielenie się i przemieszczenie nakładki względem formatki. Dzięki temu możliwy jest optymalny dobór liczby i położenia zgrzein pomiędzy formatką a nakładką, zapewniający prawidłowy przebieg kształtowania wyłoczek w procesie tłoczenia na gorąco. Zbyt mała liczba zgrzein lub ich niewłaściwe rozmieszczenie mogą powodować niekontrolowane przemieszczanie się nakładki względem formatki w trakcie procesu formowania wyłoczek, co w konsekwencji może być przyczyną wad w postaci zagnieć nakładki.



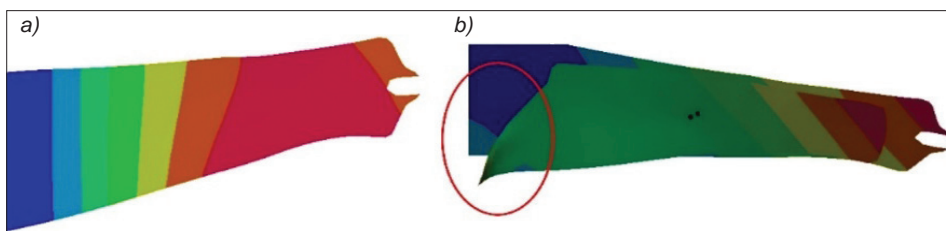
Rys. 6. Warstwie i histogramy pocienienia wyłtoczki dla modeli: a) z kontaktem związanym, b) z kontaktem z tarcie



Rys. 7. Warstwie i histogramy FLD wyłtoczki dla modeli: a) z kontaktem związanym, b) z kontaktem z tarcie



Rys. 8. Warstwie i histogramy twardości HV wyłtoczki dla modeli: a) z kontaktem związanym, b) z kontaktem z tarcie



Rys. 9. Deformacja formatki dla modeli: a) z kontaktem związanym, b) z kontaktem z tarcie i zgrzeinami

- Wpływ sposobu modelowania kontaktu między formatką a nakładką na wyniki pocienienia i FLD nie jest duży. Nieco większy wpływ zaobserwowano w przypadku warstwic i histogramów twardości i martenzytu. Wyłtoczka z kontaktem związanym w rejonach nakładki ma nieco niższą twardość oraz niższą zawartość martenzytu w porównaniu z wyłtoczką, której model uwzględniał kontakt z tarcie. Należy podkreślić, że te niższe wartości nie przekraczają poziomów granicznych, zalecanych w procesach tłoczenia na gorąco.

- W symulacjach MES procesu tłoczenia elementów karoserii, składających się z formatki oraz nakładki, zgrzanych ze sobą w kilku punktach, powinno się stosować modele dyskretne, w których interakcję formatki z nakładką modeluje się za pomocą elementów kontaktowych z tarcie, a zgrzeiny – za pomocą sztywnych, jednowymiaro-

wych elementów skończonych. Takie modele są bardziej uniwersalne i pozwalają uwzględnić więcej zjawisk, które mogą zachodzić podczas kształtowania wyłtoczki.

#### LITERATURA

- [1] Chengxi L., Zhongwen X., Weili X., Zhenjun H., Debin S. "Hot stamping of patchwork blanks: modelling and experimental investigation". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 92, 15 (2017): 2609–2617.
- [2] Ping H., Liang Y., Bin H. "Hot Stamping Advanced Manufacturing Technology of Lightweight Car Body". Springer, 2017.
- [3] Merklein M., Johannes M., Lechner M., Kuppert A. "A review on tailored blanks – Production, applications and evaluation". *Journal of Materials Processing Technology*. 214, 2 (2014): 151–164.
- [4] Kashani H. "Laser overlap welding of Zn-coated steel on aluminium alloy for patchwork blank applications in the automotive industry". *Reviews on Advanced Materials Science*. 40 (2015): 295–302.
- [5] PamStamp help system.