

dr inż. Adam Niechajowicz, mgr inż. Sławomir Polak,  
dr inż. Zbigniew Zimniak

*Politechnika Wroclawska, Wroclaw*

## KOREKCJA NARZĘDZI DO TŁOCZENIA Z UWZGLĘDNIENIEM SPRĘŻYNOWANIA POWROTNEGO WYTŁOCZEK

### Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z korekcją narzędzi, mającą na celu otrzymanie wytłoczek o zwiększonej dokładności. Porównanie wyników sprężynowania powrotnego, otrzymanego z obliczeń MES z badaniami eksperymentalnymi, wykazało zadawalającą dokładność przewidywania odkształceń powrotnych. Zaprezentowano dwie metody korekcji narzędzi, jedna bazująca na przemieszczeniach oraz druga bazująca na siłach kontaktu. W pracy zastosowano pierwszą z wymienionych metod. Wyznaczona korekcja kształtu narzędzi, dla wybranego kształtu wytłoczki samochodowej, wykonana w dwóch iteracjach, umożliwiła, uzyskanie zadowalających wyników.

**Słowa kluczowe:** wytłoczka, sprężynowanie powrotne, dokładność, korekcja narzędzi

### 1. Wstęp

Globalna konkurencja wymusza na zakładach wytwarzających części metodą tłoczenia, ciągłe podwyższanie jakości wytłoczek i skrócenia czasu wprowadzania nowych produktów na rynek. Czynniki te wymuszają elastyczność producentów wytłoczek, co jest stosunkowo nowym zjawiskiem w tradycyjnie nieelastycznych tłoczeniach.

Aby spełnić nowe żądania stawiane przez rynek powinno się stosować najnowsze metody projektowania, wytwarzania i planowania produkcji. Jednym z najważniejszych etapów projektowania technologii i narzędzi dla skrócenia czasu uruchomienia procesu wytwarzania jest jego planowanie. Dla procesów tłoczenia blach etap ten jest nie tylko bardzo ważny, ale bardzo trudny, z powodu konieczności przewidywania liczby i typów operacji tłoczenia, uwzględniania czynników ograniczających takich jak: fałdowanie, pękanie oraz dokładności związanej ze sprężynowaniem powrotnym blach. W tradycyjnych metodach projektowania i wytwarzania bazowa-

ło się głównie na doświadczeniu projektantów oraz czasochłonnym, drogim sposobie korekcji narzędzi, opartym na metodzie prób i błędów [1,2]. Nowa efektywna metoda projektowania procesów tłoczenia musi wykorzystywać możliwości CAD/CAM oraz łączyć możliwości numerycznych symulacji i analiz opartych na: bazach wiedzy, systemach ekspertowych lub metodach optymalizacji.

Pozwala to na skrócenie czasu wytwarzania, zmniejsza rolę, jaką odgrywa doświadczenie projektanta, umożliwia bardziej wydajny proces projektowania, poprawiający jakość produktu. Jakość wyrobów tłoczonych ma obecnie coraz większe znaczenie. Jest to bardzo ważny czynnik, który wpływa na etap montażu oraz końcową jakość wyrobu. Jednym z rozpatrywanych czynników wpływających na jakość wytłoczek, jest dokładność kształtowo-wymiarowa, która związana jest ze sprężynowaniem powrotnym materiału. Dodatkowo, nowe wyzwania pojawiają się dla nowych materiałów o dużej wytrzymałości, które są mniej odkształcalne od stali miękkiej oraz wykazują większe sprężyno-

wanie [2,3]. Sprężynowanie powrotne jako główne źródło niedokładności wytłoczek, jest funkcją danych materiałowych, kształtów narzędzi i parametrów procesu. Projektanci technologii tłoczenia powinni uwzględniać w procesie kształtowania blach efekt sprężynowania powrotnego, uwzględniając powyższe czynniki. Dlatego możliwość przewidywania sprężynowania powrotnego po tłoczeniu staje się niezbędną dla tłoczni i narzędziowni, jednak jest to tylko warunek konieczny, ale niewystarczający. Coraz bardziej pożądana jest możliwość sterowania sprężynowaniem powrotnym poprzez wybrane parametry procesu, kształt wstępniaka, korekcję kształtowymi wymiarową narzędzi [4]. Zastosowanie numerycznych symulacji procesu tłoczenia, jak również innych metod bazujących na AI staje się jednym z oczywistych rozwiązań i dlatego są one ciągle rozwijane.

MES jest główną metodą stosowaną do symulacji procesów tłoczenia blach, pozwalającą na wyznaczanie wielkości sprężynowania powrotnego, rozkładów: odkształceń, naprężeń i sił oraz umożliwia zlokalizowanie miejsc powstawania defektów tłoczenia w postaci pęknięcia lub fałdowania. Takie zastosowanie MES jest tańsze od badań eksperymentalnych, daje ponadto pełne informacje o skutkach wyboru narzędzi oraz parametrów procesu. Poszukiwanie odpowiednich parametrów procesu, wymaga zastosowania dodatkowych działań np. metod optymalizacji lub metod bazujących na zjawiskach fizycznych itp. W wielu pracach prezentowano użycie metod planowania eksperymentu z zastosowaniem symulacji MES jako głównego źródła danych wejściowych do obliczeń. Pozwala to usprawnić proces projektowania wytłoczek, uwzględniając zjawiska ograniczające kształtowanie oraz dokładność wyrobów. Uwzględnienie wszystkich parametrów geometrycznych związanych z kształtem wytłoczki, powoduje zwiększenie liczby niezbędnych powtórzeń modelowania, przez co czas optymalizacji procesu staje się bardzo długi. Dlatego są również poszukiwane i rozwijane inne rozwiązania [5,6,7].

W artykule zaprezentowano metodę korekcji kształtu narzędzi uwzględniającą kompensację sprężynowania powrotnego wytłoczek. Metoda korekcji bazuje na za-

stosowaniu sił kontaktu narzędzi z blachą lub przemieszczeń powstałych na skutek sprężynowania powrotnego wyznaczonych przy użyciu MES. Metoda ta została zastosowana do korekcji kształtu narzędzi do tłoczenia podłużnicy samochodowej.

## 2. Metody korekcji narzędzi

Główna idea korekcji narzędzi polega na zastosowaniu klasycznej kompensacji sprężynowania powrotnego używanej w warunkach technologicznych, a mianowicie dodatkowego przegięcia lub przetłoczenia blachy podczas tłoczenia. O ile dla prostego gięcia problem jest związany tylko z wartością dodatkowego przegięcia, to w przypadku bardziej złożonych procesów tłoczenia i skomplikowanych kształtów wytłoczek nie istnieje możliwość dokładnego przewidywania wielkości przetłoczenia.

Podstawowe założenie przyjęte w pracy, bazuje na symetrii sprężynowania powrotnego i przegięcia potrzebnego do jego kompensacji, co jest oczywiste dla małych odkształceń. Przyjęto, że siły kontaktu dla pełnego zagłębienia stempla są to siły, które po odsunięciu narzędzi powodują sprężynowanie powrotne. Zastąpienie sił kontaktu przez takie same siły ze znakiem przeciwnym powoduje przegięcie blachy w kierunku odwrotnym do kierunku sprężynowania powrotnego (metoda sił). Obliczenie kształtu wytłoczki z tak zdefiniowanymi siłami powoduje dodatkową deformację wytłoczki, a otrzymany nowy kształt, jest poszukiwanym kształtem do wykonania narzędzi korygowanych.

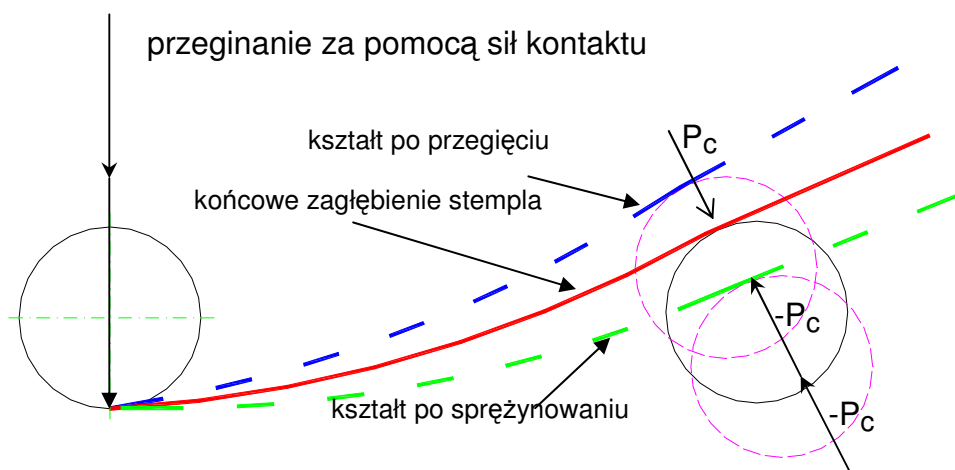
Tłoczenie przy użyciu tak skorygowanych narzędzi powoduje dodatkowe przegięcie materiału. W wyniku tego po sprężynowaniu powrotnym kształt wytłoczki powinien być zbliżony do kształtu nominalnego. Podobne rezultaty można otrzymać stosując zamiast sił kontaktu, przemieszczenia w zakresie sprężystym, wywołane sprężynowaniem powrotnym (metoda przemieszczeń). Idea tych metod została przedstawiona na rys.1 i 2 na przykładzie trypunktowego gięcia. Schematyczny układ na rysunkach nie musi być traktowany jako konkretny proces, lecz może być traktowany, jako mały lokalny fragment procesu kształtowania np. wyizolowany element

siatki MES. Zgodnie z tym założeniem wartości lokalnych sił lub sprężystych odkształceń mogą być zastosowane do przeprowadzenia korekcji kompletnych narzędzi. Metoda ta jest szczególnie przydatna do stosowania razem z metodą MES, podczas analizy procesu kształtowania [8-10].

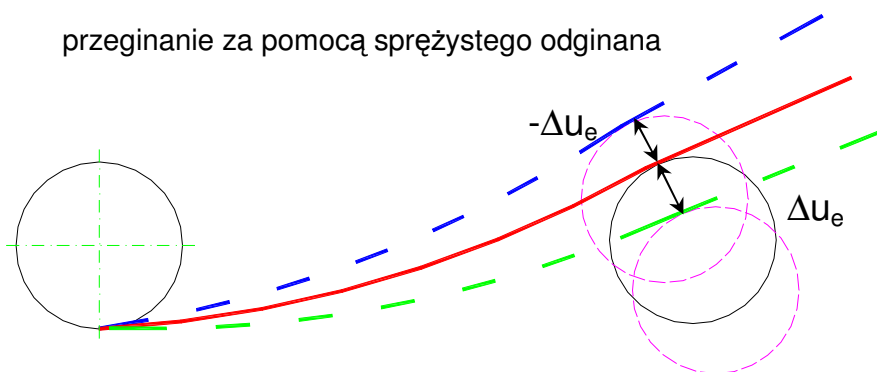
Zastosowanie symulacji MES pozwala na wyznaczenie zarówno sił kontaktu jak i odkształceń sprężystych, wywołanych sprężynowaniem powrotnym. Zastąpienie wyznaczonych sił lub przemieszczeń przez odpowiadające im siły i przemieszczenia, lecz o przeciwnych znakach, pozwala na obliczenie nowego kształtu, który można przyjąć za skorygowany kształt narzędzi. Taki cykl postępowania może być powtarzany wiele razy aż do uzyskania zakładanej dokładności wytłoczki.

Przydatność tych metod zależy głównie od dokładności wyznaczenia wartości powrotnych odkształceń sprężystych przy użyciu MES. Problem dokładności modelowania sprężynowania powrotnego jest w literaturze traktowany jako bardzo złożony [4,9]. Głównym powodem takich opinii była ograniczona moc obliczeniowa komputerów, wymuszająca stosowanie dużych elementów, dużych przerostów czasu oraz ograniczonej liczby punktów całkowania na grubości blachy, co z kolei prowadziło do dużych błędów obliczonego sprężynowania.

Poprzez zbadanie wpływu różnych parametrów modelowania na dokładność obliczeń sprężynowania powrotnego, można było stwierdzić, że możliwe jest otrzymanie dobrej dokładności obliczeń sprężynowania



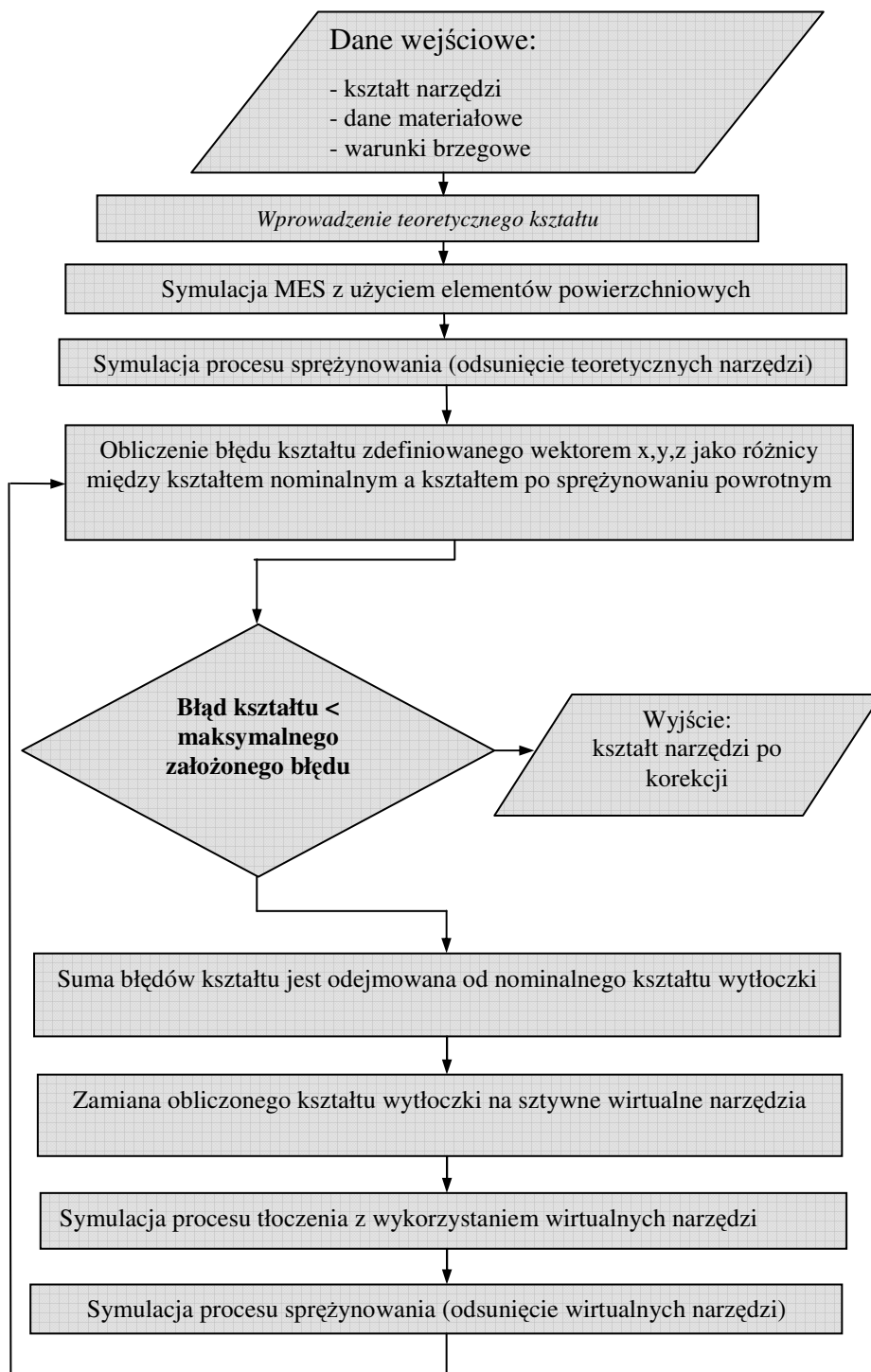
Rys. 1. Schematyczne przedstawienie metody sił do korekcji kształtu narzędzi



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie metody przemieszczeń do korekcji kształtu narzędzi

powrotnego stosując elementy o małych wymiarach, szczególnie w strefach kontaktu z narzędziami, małe przyrosty czasowe oraz dokładne dane materiałowe [11]. Niestety stosowanie takich parametrów modelowania prowadzi do znacznego wydłużenia czasu obliczeń i konieczności stosowa

nia komputerów o dużej mocy obliczeniowej. Akceptując powyższe ograniczenia dotyczące długiego czasu obliczeń można stosować MES do analizy sprężynowania powrotnego przy zadawalającym poziomie dokładności a także do korekcji narzędzi powyżej opisanymi metodami.



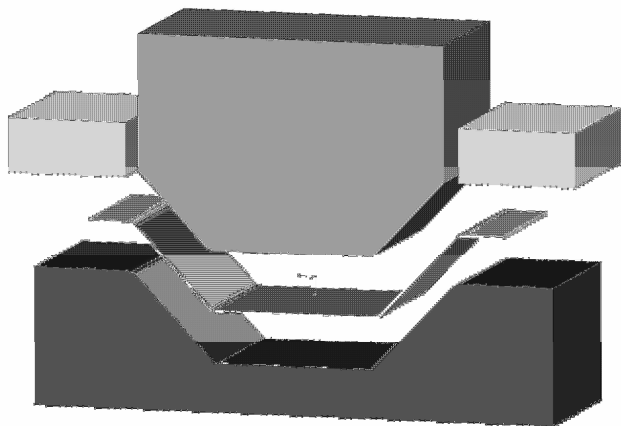
Rys. 3. Algorytm metody kompensacji kształtu narzędzi metodą przemieszczeń

Naturalnym ograniczeniem zastosowania opisanych metod korekcji kształtu narzędzi są wytłoczki, które mają pionowe ścianki, ponieważ dla takich wytłoczek po korekcji otrzymujemy narzędzia o kątach ścianek większych niż  $90^\circ$ , co wymaga specjalnych narzędzi do kształtowania. Podobne ograniczenia występują dla wytłoczek o płaskim dnie.

Zastosowanie metody sił do korekcji kształtu narzędzi, zostało już wcześniej szerzej przedstawione w pracy [12]. Uzyskane rezultaty, potwierdziły możliwość stosowania metody sił dla wytłoczek osiowo-symetrycznych oraz prostego procesu gięcia [11].

Algorytm korekcji narzędzi z wykorzystaniem przemieszczeń w zakresie sprężystym, zakłada iteracyjną procedurę kompensacji efektów sprężynowania powrotnego rys. 3.

Obie przedstawiane metody, metoda sił oraz metoda przemieszczeń zostały zastosowane do korekcji kształtu narzędzi dla procesu gięcia przez przewijanie, wytłoczki ze stopu aluminium 6061T4 o grubości 1,0mm (rys. 4) [13]. Modelowanie zostało przeprowadzone za pomocą programu MSC.Marc z zastosowaniem elementów powłokowych oraz izotropowego modelu materiału.



Rys. 4. Proces gięcia przez przewijanie

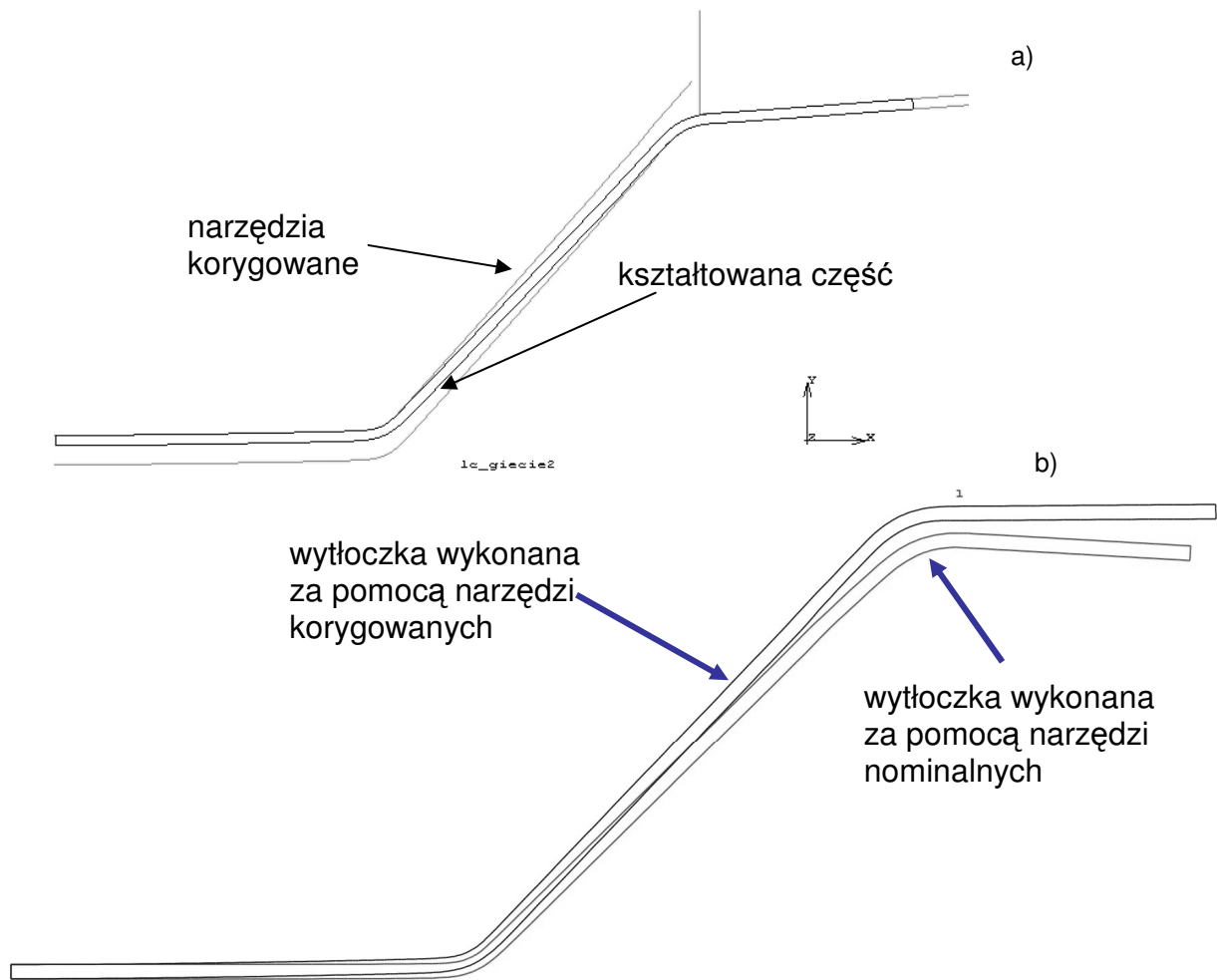
Wynikiem zastosowania pierwszej metody, był kształt narzędzi z zakrzywionymi powierzchniami pokazany na rys. 5a.

Wirtualne kształtowanie z użyciem korygowanych narzędzi daje bardzo równomierny rozkład nacisków materiału na narzędzia i bardzo jednorodne płynięcie materiału. Sprężynowanie jest stosunkowo

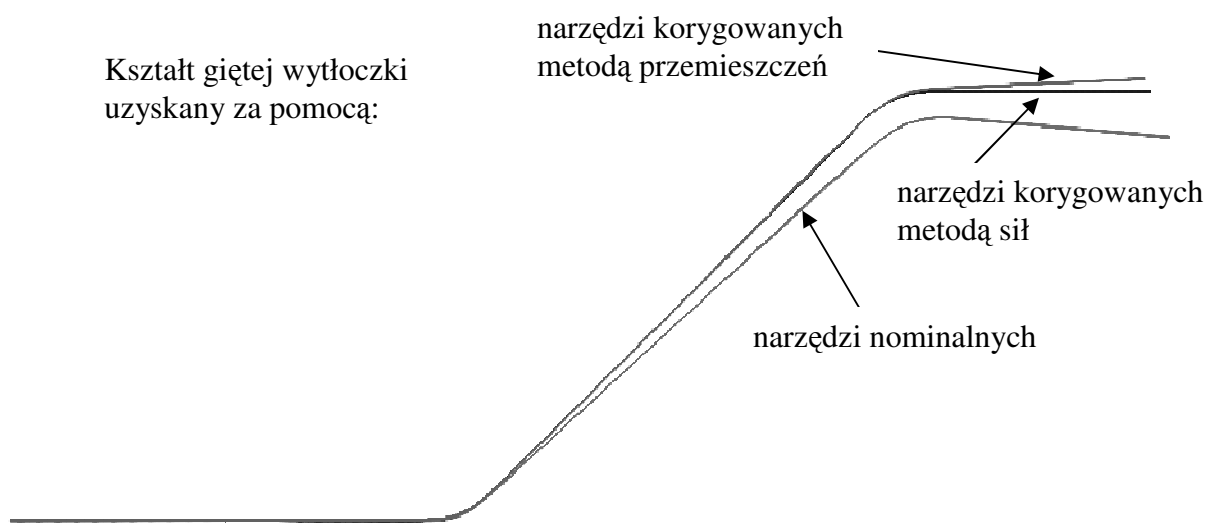
duże, ale kształt po sprężynowaniu powrotnym jest bardzo zbliżony do pożądanego kształtu nominalnego (rys. 5b), pomimo że otrzymane wyniki dotyczyły jedynie pierwszej iteracji korekcji. Inną interesującą cechą procesu było to, że kształt wytłoczki nie zależał od wielkości siły dogniatania, nawet 200 razy większej od standardowej siły gięcia.

Wyniki, uzyskane metodą przemieszczeń, po pierwszej iteracji, z zastosowaniem jedynie pionowej składowej przemieszczenia, zostały porównane z metodą sił na rys. 6. Otrzymane, różnice wyników obliczeń za pomocą tych metod, są bardzo małe i obydwie metody mogą być stosowane. Dla bardziej skomplikowanych kształtów, wymagana jest większa liczba iteracji korekcji dla metody przemieszczeń. Kolejnym prostym przykładem zastosowania metody przemieszczeniowej, był wybrany fragment procesu niesymetrycznego gięcia podłużnicy samochodowej (rys. 7). Została ona wykonana ze stali H300 o grubości 1,6mm. Ścianki tej wytłoczki były prawie pionowe, typowe dla tego typu wytłoczek, ale trudne do przeprowadzenia korekcji kształtu narzędzi. Dla tego wybranego fragmentu wytłoczki, przeprowadzono korekcje kształtu narzędzi z zastosowaniem różnych wariantów wyboru składowych wektora przemieszczeń.

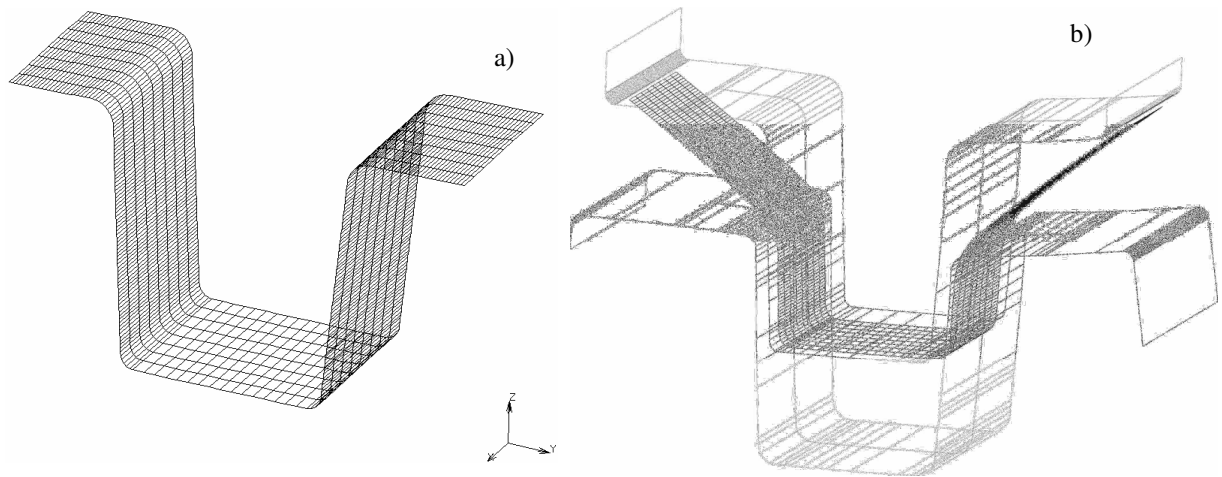
Przedstawione na rys. 8 kształty użyte do zbudowania narzędzi po korekcji, obrazują duży wpływ wyboru składowych wektora przemieszczeń na kształt narzędzi po korekcji (na rysunku widoczne są kształty: wytłoczki nominalnej, wytłoczki po sprężynowaniu oraz kształt korygowany do budowy narzędzi po korekcji). Bez dodatkowego modelowania widoczne jest, że zalecany wybór składowej przemieszczenia tylko w kierunku ruchu narzędzi [8], nie daje dobrego rozwiązania dla tego typu wytłoczki. Wyniki modelowania gięcia za pomocą tak skorygowanych narzędzi, pokazano na rys. 9. Najlepsze wyniki korekcji uzyskano dla pełnego wektora przemieszczeń jednak nie były one zadowalające. Tego typu proces kształtowania wymaga, więc przeprowadzenia przynajmniej jednej dodatkowej iteracji, przyjmując jako dodatkową poprawkę dla narzędzi różnicę między nowym kształtem po sprężynowaniu a kształtem nominalnym.



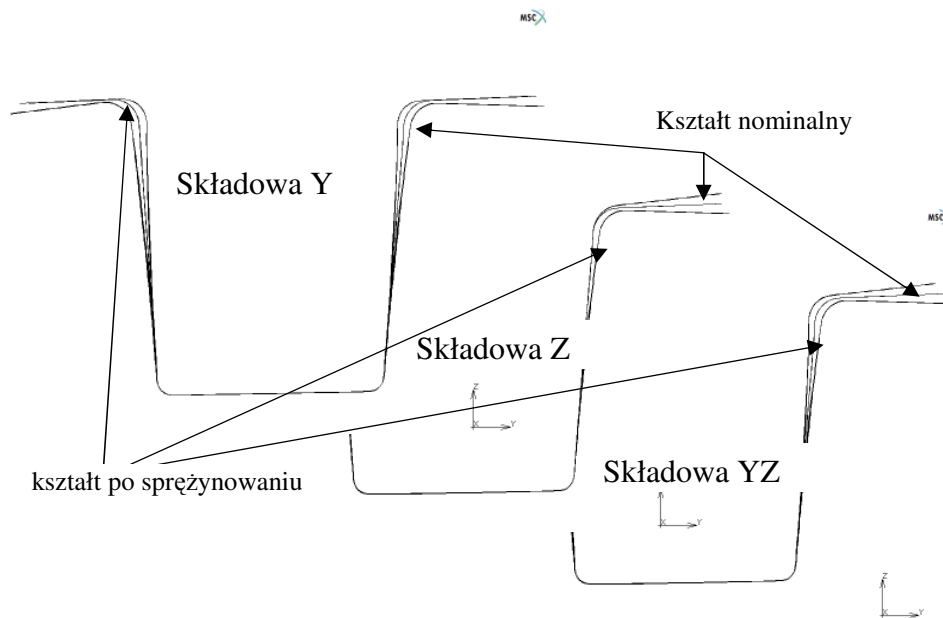
Rys. 5. Wyniki uzyskane metodą sił – a) narzędzia po korekcji, b) wytłoczka przed i po korekcji



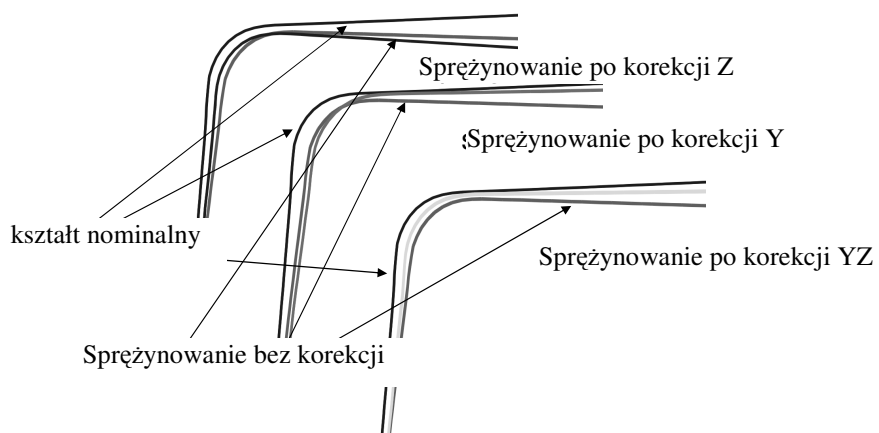
Rys. 6. Porównanie kształtów wytłoczek otrzymanych za pomocą metody sił i metody przemieszczeń



Rys. 7. Wybrany fragment procesu gięcia podłużnicy samochodowej: a) nominalny kształt, b) proces kształtowania



Rys. 8. Różne warianty zastosowania składowych wektora przemieszczeń do korekcji narzędzi



Rys. 9. Porównanie kształtu wytłoczek uzyskanych za pomocą korekcji kształtu narzędzi dla różnych składowych wektora przemieszczeń

Wybór pełnego wektora przemieszczeń wydaje się być najlepszym wyborem ze względu na skuteczność korekcji. O ile taki wybór nie budzi wątpliwości przy stosunkowo prostych, wypukłych kształtach wytłoczek, to w przypadku wytłoczek o złożonych kształtach, wybór taki może prowadzić do przeszacowania poprawki korygującej i braku możliwości uzyskania zbieżności iteracyjnej procedury.

### **3. Zastosowanie metody przemieszczeń do korekcji przemysłowej wytłoczki**

Procedura korekcji za pomocą przemieszczeń, została zastosowana do złożonego kształtu podłużnicy samochodowej, który przedstawiono na rys. 10; widoczne na rysunku linie profili są przekrojami, w których dokonywane były porównania modelowania i wyników doświadczalnych. Materiał i parametry modelowania przyjęto, takie same jak dla przedstawionego powyżej uproszczonego fragmentu podłużnicy. Siatka elementów skończonych została rozpięta na 35000 węzłach zagęszczonych w miejscach oczekiwanych dużych gradientów przemieszczeń. Wynik korekcji narzędzi zależy w dużym stopniu od dokładności obliczenia sprężynowania powrotnego, pierwszym krokiem było porównanie obliczonego kształtu po sprężynowaniu z kształtem wyznaczonym eksperymentalnie. Porównanie to wykazało ogólnie dobrą zgodność z pewnym niedoszacowaniem przy półkach belki. Dlatego wykonano również obliczenia dla znacznie mniejszych rozmiarów elementów skończonych (82000 węzłów), jednakże zmiana ta nie poprawiła w istotny sposób wyników sprężynowania powrotnego. Występująca rozbieżność, jest trudna do wyjaśnienia. Na podstawie przeprowadzonych wcześniej badań, stwierdzono, że nie jest to wynikiem niedokładności warunków tarcia, krzywej umocnienia, czy parametrów modelowania. Nie sprawdzonym czynnikiem ze względu na brak danych, było założenie izotropowego modelu umocnienia materiału; nie można, więc wykluczyć wpływu tego czynnika. Stwierdzone rozbieżności, były jednak na tyle małe, że wyniki modelowania uznano

ostatecznie za wystarczające do przeprowadzenia korekcji.

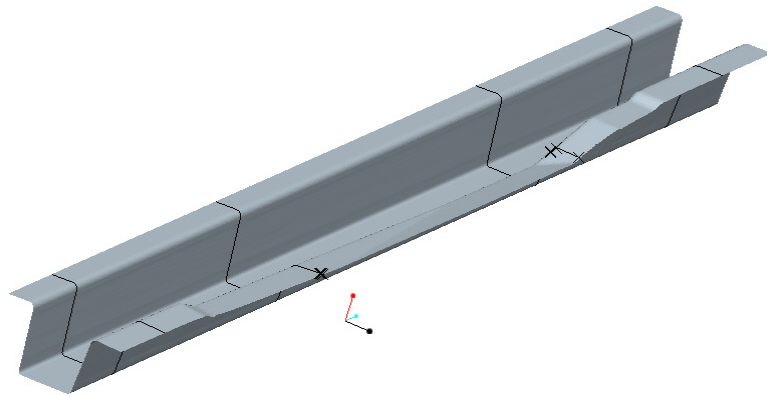
Na rys. 11. przedstawiono kształt wytłoczek w wybranych przekrojach: nominalny, po sprężynowaniu - uzyskany narzędziami nominalnymi oraz po sprężynowaniu - uzyskany narzędziami korygowanymi po pierwszej iteracji.

Z porównania kształtu wytłoczki otrzymanej po pierwszej korekcji z kształtem uzyskanym bez korekcji narzędzi, wynika, że osiągnięto znaczącą poprawę kształtu wytłoczki w odniesieniu do kształtu nominalnego, jednakże wymagane jest, wykonanie kolejnej iteracji korygowania, ponieważ uzyskana dokładność, jest niewystarczająca. Na rysunku 12 przedstawiono wyniki po kolejnej korekcji, która okazała się wystarczająca dla wymaganej dokładności. Uznano, że jej odchyłki od kształtu nominalnego są na tyle małe, że następne iteracje nie wniosą już istotnych zmian i taki kształt narzędzi korygowanych został przekazany do wykonania.

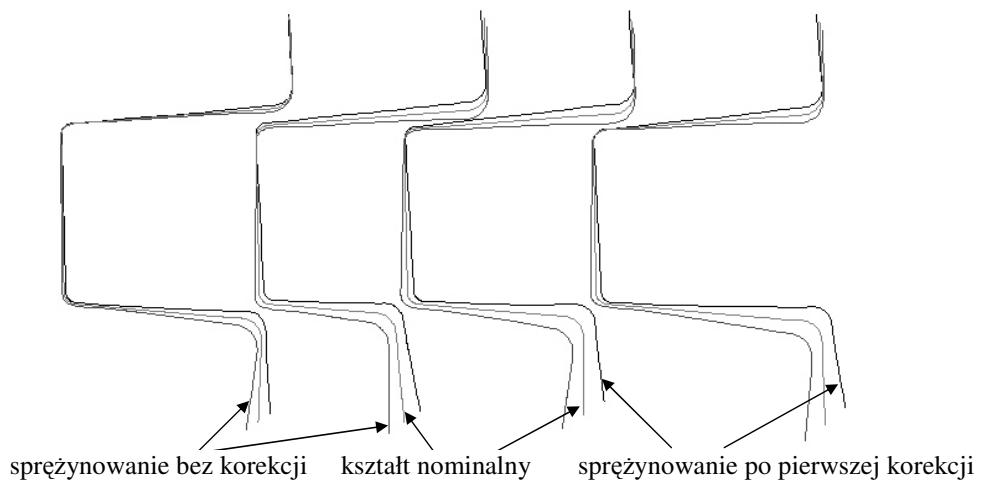
Skorygowane narzędzia, próby tłoczenia oraz pomiary wytłoczek zostały wykonane przez Auto Tools. Porównanie kształtu wytłoczek wykonanych za pomocą narzędzi, przed i po korekcji pokazano na rys. 13, na którym widać dużą skuteczność metody. Kształt po korekcji jest bliski nominalnemu na całej długości belki. Skutecznie poprawiono sprężynowanie w płaszczyznach normalnych do osi belki oraz jej skrócenie wzdłuż osi. Należy zwrócić uwagę na dużą dokładność promieni zaokrąglenia wytłoczki. Taka skuteczność korekcji pozwala również na eliminację operacji kalibrowania, typowej dla tego typu wytłoczek.

Czasochłonność opisanego procesu korygowania narzędzi wyniosła 330 godzin, z czego 240 godzin, był to czas pracy komputera. Pomimo długiego czasu obliczeń, prezentowana metoda jest mniej czasochłonna, niż stosowanie tradycyjnych metod projektowania.

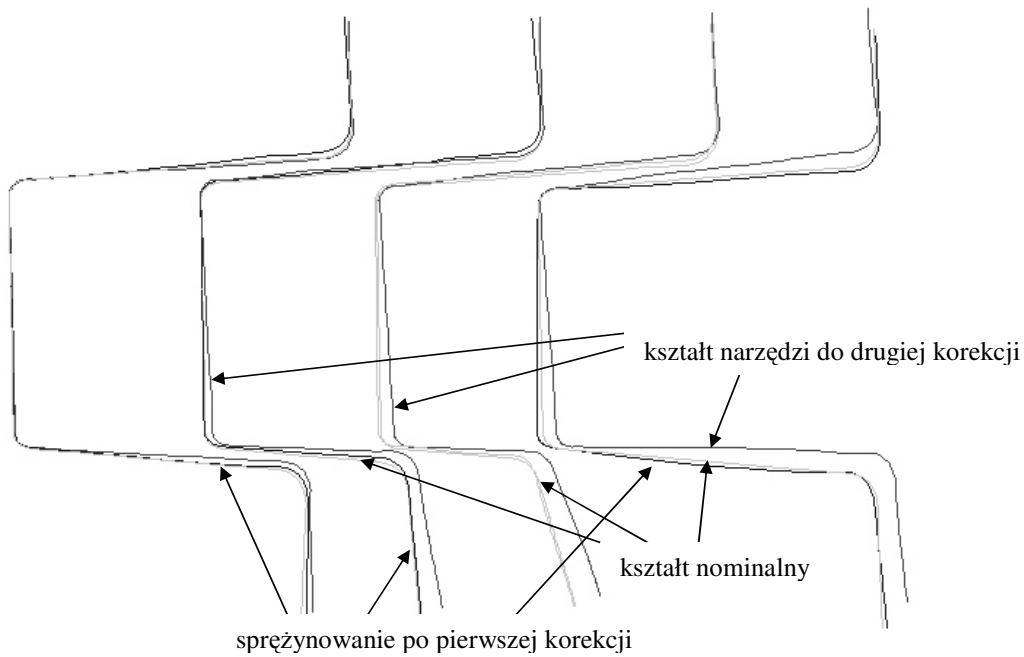




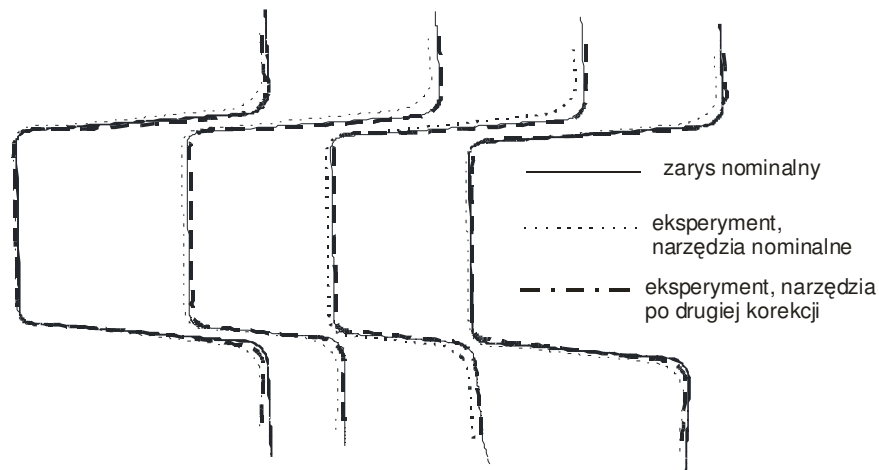
Rys. 10. Podłużnica samochodowa użyta w badaniach, zaznaczone linie wyznaczają płaszczyzny dla których wykonano porównanie kształtu, co zostało pokazane na kolejnych rysunkach



Rys. 11. Kształt w wybranych przekrojach: nominalny, po sprężynowaniu uzyskany narzędziami-nominalnymi oraz korygowanymi po pierwszej iteracji



Rys. 12. Kształt w wybranych przekrojach: nominalny, sprężynowanie po pierwszej korekcji, kształt narzędzi do drugiej korekcji



Rys. 13. Kształt w wybranych przekrojach: nominalny oraz po sprężynowaniu powrotnym z badań eksperymentalnych bez korekcji oraz po korekcji

#### 4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań, ustalono ważne i krytyczne warunki dla przeprowadzenia korekcji narzędzi.

1. Dokładność modelowania jest najważniejszym czynnikiem. Niezbędne do tego celu, są bardzo dokładne dane: dotyczące materiału, warunków brzegowych oraz warunków procesu. Oszczędności czasu obliczeń, przez stosowanie większych elementów lub przyrostów czasu prowadzi do utraty dokładności wyznaczenia odkształceń powrotnych i niepowodzenia korekcji. Problem czasu modelowania jest ważny, ponieważ symulacje podłużnicy wykonywane na dwu-procesorowej stacji roboczej, trwały 70 h CPU dla pojedynczego modelowania. Dla wykonania dwóch iteracji korygowania kształtu narzędzi, jest potrzebne wykonanie trzech cykli obliczeń i dodatkowo czas potrzebny na przygotowanie kształtu narzędzi korygowanych do symulacji. Całkowity czas korekcji dla podłużnicy oszacowano na 330h, nie licząc czasu dodatkowych prób.

2. Wybór odpowiednich składowych wektora przemieszczenia, jako poprawek do korekcji. Jako najlepszy wybór dla tego typu wytłoczki, uznano pełny wektor przemieszczenia i taki został przyjęty do obliczeń, co powinno być typowe dla stosunkowo prostych wytłoczek. Dla bardziej złożonych wytłoczek taki wybór, może okazać się błędny, ponieważ może prowadzić do przeszacowania wartości poprawki i problemów z uzyskaniem zbieżności rozwią-

zania. Jako właściwy wybór, należy uznać poprawkę na poziomie 70 – 80% całkowitego sprężystego przemieszczenia. Wtedy możliwe jest, zakończenie procesu korekcji na drugiej iteracji, uzyskując zadawalający rezultat.

3. Wybór zakresu stosowanej korekcji. Biorąc pod uwagę całościową korekcję dla wszystkich elementów złożonej wytłoczki, zdanie może być bardzo złożone i wymagające długiego czasu obliczeń. Nie zawsze tego typu korekcja jest konieczna. Ograniczenie zakresu korekcji do niezbędnej, wymaganej dokładności skróci czas obliczeń.

4. Sprawdzenie stosowalności metody korekcji. Dla skomplikowanych wytłoczek o pionowych kształtach lub płaskim dnie, nie może być, wykonana skuteczna korekcja opisaną metodą. Jeżeli wymieniona metoda, nie powinna być stosowana, należy wybrać inną metodę, np. procedurę optymalizacji.

5. Tworzenie powierzchni korygowanych narzędzi. Wyniki uzyskiwane z MES mają postać chmury punktów o określonych współrzędnych. Budowanie powierzchni z dużej ilości punktów węzłowych, daje w rezultacie powierzchnię niejednorodną, o licznych zaburzeniach. Decyzję o bezpośrednim zastosowaniu takiej powierzchni do wytworzenia narzędzi, wygładzaniu powierzchni, stopniu ich wygładzenia, należy pozostawić na obecnym etapie konstruktorom.

## Literatura

1. Kang S.S., Park D.H.; Application of computer-aided process planning system for non-axisymmetric deep drawing products. *Journal of Materials Processing Technology* 124 (2002) 36-48.
2. Choi J. C., Kim C., Choi Y., Kim J. H., Park J. H.; An Integrated Design and CAPP System for Deep Drawing or Blanking Products; *Int J Adv Manuf Technol* (2000) 16, 803-813.
3. Andersson A.; Information exchange within the area of tool design and sheet-metalforming simulations *J. ENG. DESIGN*, 2001, VOL. 12, NO. 4, 283–291.
4. Forcellese A., Fratini L., Gabrielli F., Micari F.; The evaluation of springback in 3D stamping and coining processes. *Journal of Materials Processing Technology* 80–81 (1998) 108–112.
5. Li K.P., Cardeb W.P., Wagoner R.H.; Simulation of springback. *International Journal of Mechanical Sciences* 44 (2002) 103–122.
6. Schenk O., Hillmann M., Optimal design of metal forming die surfaces with evolution strategies, *Journal Computers&Structures*, 82, 2004, 1695-1705.
7. Pilani R., Narasimhan K., Maiti S. K., Singh U. P., Date P. P.; A Hybrid Intelligent Systems Approach for Die Design in Sheet Metal Forming. *Int J Adv Manuf Technol* (2000) 16, 370–375.
8. Karafillis A. P., Boyce M. C.; Tooling design in sheet metal forming using springback calculations, *Int. J. Mech. Sci.*, 34, 1992, 113-122.
9. Karafillis A.P, APOSTOLOS P., MARY C., Boyce M.C.; Tooling and binder design for sheet metal forming processes compensating springback error, *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 36, 1996, 503-526.
10. Wagoner R.H., Gan W., Mao K., Price S., Rasouli F.; Design of sheet forming dies for springback compensation, *Proc. of the Int. Conf. ESAFORM Conference on Material Forming, Salerno, Italy, 2003, 7-14.*
11. Jakubów M., Niechajowicz A., Polak S.; Wpływ właściwości materiałów i parametrów modelowania MES na dokładność wyznaczenia sprężynowania w procesach gięcia blach. Konstrukcja i technologia wylotek i wyprasek. XVI Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna. Materiały konferencyjne. Poznań-Wąsowo, 14-16 czerwca 2004, 145-156.
12. Gronostajski J., Niechajowicz A., Polak S.; Springback deformation of drawpieces after trimming and parting. *Werkstoffe und Komponenten fuer den Fahrzeugbau. 11. Saechsische Fachtagung Umformtechnik. Tagungsband. Freiberg, 06.-08.10.2004. Freiberg, Institut fuer Metallformung TU Bergakademie 2004, 457-476.*
13. Gronostajski J., Gronostajski Z., Jakubów M., Niechajowicz A., Zimniak Z., Polak S.: The intelligent system for NET SHAPE forming of sheet metals products. *Raporty Inst. Technol. Masz. Autom. PWroc. 2004 Ser. SPR nr 12/04*

## SHAPE CORRECTION OF TOOLS WITH RESPECT TO SPRINGBACK OF DRAWPIECES

### Abstract

A possibility of tool correction for improvement of accuracy of drawpieces is presented. The comparison with experimental results shows satisfactory accuracy of the springback calculation by FEM. The methods of the tool correction based on the contact forces and elastic displacement was presented. On the base of analysis of accessible data the second method was selected. A prepared tools correction shows that the method gives satisfactory tool correction after second iteration.

**Key words:** drawpiece, springback, accuracy, tool correction