



2015

**Fizyczne i Matematyczne Modelowanie  
Procesów Obróbki Plastycznej**

IX konferencja (FIMM'15) 17-19.05.2015, Jabłonna

**PRACE NAUKOWE • MECHANIKA • z.267**

J.Goliński, Politechnika Warszawska, L.Olejniki, Politechnika Warszawska  
A.Rosochowski, University of Strathclyde, Glasgow

## **KSZTAŁTOWANIE PRZYROSTOWE WIELOFUNKCYJNYCH PAKIETÓW BLASZANYCH DO TŁOCZENIA**

Zadawanie odkształceń postaciowych sposobem przyrostowym zastosowano do wytwarzania wielofunkcyjnych pakietów blaszanych o zmiennej grubości przeznaczonych do tłoczenia (tzw. Tailored Blanks). Pokazano przykłady wykrojki o zmiennej grubości, które wytwarzano przy użyciu różnych konfiguracji narzędzi realizujących przyrostowe ścinanie. Wykrojki uzyskane nową metodą nazwano wykrojkami TSB (Tailor Sheared Blanks).

### **1. Wprowadzenie**

W procesach kształtowania blach zwraca się uwagę głównie na dotrzymanie żądanego kształtu i wymiarów zewnętrznej powierzchni wyrobu tłoczonego czy giętego. Grubość ścianki wytłoczki nie podlega już ścisłej kontroli. Stwarza to możliwość regulowania właściwości konstrukcji blaszanej drogą dystrybucji grubości ścianki. Obecność lokalnych pogrubień lub pocienień blachy, z której w procesie kształtowania plastycznego powstanie element powłokowy, zwiększa swobodę konstruktora w projektowaniu konstrukcji o wymaganej wytrzymałości.

Taki sposób produkcji wyrobów tłoczonych przyjęto już dawno do realizacji pod nazwą Tailored Blanks [1] (zastosowanie wykrojki TB). Polega on na przygotowaniu do tłoczenia pakietów blaszanych charakteryzujących się zmienną grubością blachy na obszarze, który podlega odkształceniu plastycznemu. Tam gdzie wymagana jest podwyższona wytrzymałość powłokowego wyrobu grubość jest powiększana. Pozostała powierzchnia powłoki powstaje z blachy o mniejszej grubości. Wielofunkcyjne pakiety blaszane TB dają możliwość zmniejszenia sumarycznej masy konstrukcji blaszanej. W przypadku złożonych konstrukcji takich, jak karoseria samochodu, użycie wykrojki TB przekłada się na zmniejszenie liczby części składowych i sumarycznej masy konstrukcji. Nic więc dziwnego, że produkcja wykrojki TB przyjęła charakter masowy.

Wykrojki TB najczęściej są wytwarzane czterema sposobami:

- 1) TWB (Tailor Welded Blank) zakłada wykorzystanie technik łączenia, np. spawanie łukowe i zgrzewanie liniowe lub spawanie laserowe. Technologia TWB daje możliwość dowolnego kształtowania przebiegu spoiny i umożliwia produkowanie przygotówek do tłoczenia składających się nie tylko z blach o różnych grubościach, ale również zawierające blachy wykonane z rozmaitych materiałów [2], ale tylko tych, których łączenie jest możliwe.
- 2) TRB (Tailor Rolled Blank) zakłada stosowanie blachy o różnych grubościach wykonanej techniką walcowania za pomocą walców o płynnej regulacji szczeliny między nimi. Z tak walcowanej blachy wycina się wykrojki, które zawierają zróżnicowaną grubość w zależności od potrzeb wytrzymałości i sztywności. Technologia TRB ma jednak szereg

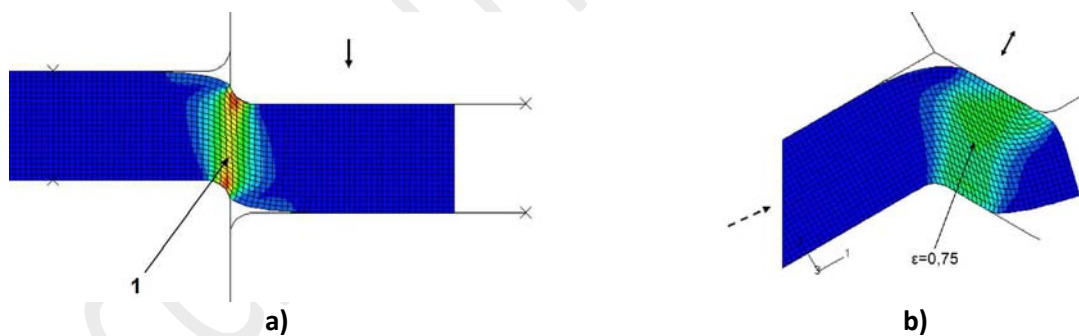
ograniczeń: zakres grubości blachy nie jest duży, w jednej wykrojce TB zmiana grubości może sięgać do 50%, można stosować tylko niezbyt duże wykroje z blachy i tłoczyć tylko elementy symetryczne [3].

- 3) TPB (Tailored Patchwork Blanks) polega na lokalnym wzmocnieniu arkusza przez połączenie z drugą płytką za pomocą np. spawania laserowego lub zgrzewania [4].
- 4) TMB (Tailor Machined Blanks) polega na lokalnym osłabieniu wykrojki przez zmniejszenie grubości drogą obróbki ubytkowej [5].

Przegląd obecnie stosowanych metod produkcji wykrojek TB wraz ze wskazaniem obszarów ich zastosowania podano w [6]. W niniejszym referacie zostanie przedstawiona nowa metoda TSB (Tailor Sheared Blanks) [7] służąca wytwarzaniu wykrojek TB, w której do zmiany grubości blachy zastosowano schemat odkształcenia oparty na prostym ścinaniu.

## 2. Metoda

Proponowana metoda zasadza się na wykorzystaniu odkształceń ścinających, wytwarzanych w sposób charakterystyczny dla cięcia. Przy cięciu blacha jest poddawana działaniu pary narzędzi, które wywierają obciążenie powodując lokalne uplastycznienie materiału. Rezultat takiego obciążenia blachy listwami tnącymi (krawędzie tnące są prostopadłe do powierzchni rysunku), oglądany w przekroju wzdłużnym, pokazano na Rys. 1a. Aby obszar odkształcenia plastycznego objął całą objętość materiału blacha musi być okresowo przesuwana względem narzędzi w kierunku prostopadłym do krawędzi tnących. Właśnie na tej zasadzie została zbudowana przyrostowa metoda kształtowania plastycznego blachy odkształceniami postaciowymi TSB, która umożliwia wytwarzanie wykrojek typu TB. Zmniejszenie grubości blachy łatwo jest, bowiem uzyskać przez użycie przeciwstempla. Odległość między czołami stempla i przeciwstempla decyduje o uzyskanej grubości blachy po zakończeniu przyrostowego ścinania. Oczywiście przyrostowe ścinanie należy prowadzić poczynając od obrzeża blachy tak, jak to pokazano na Rys. 1b.



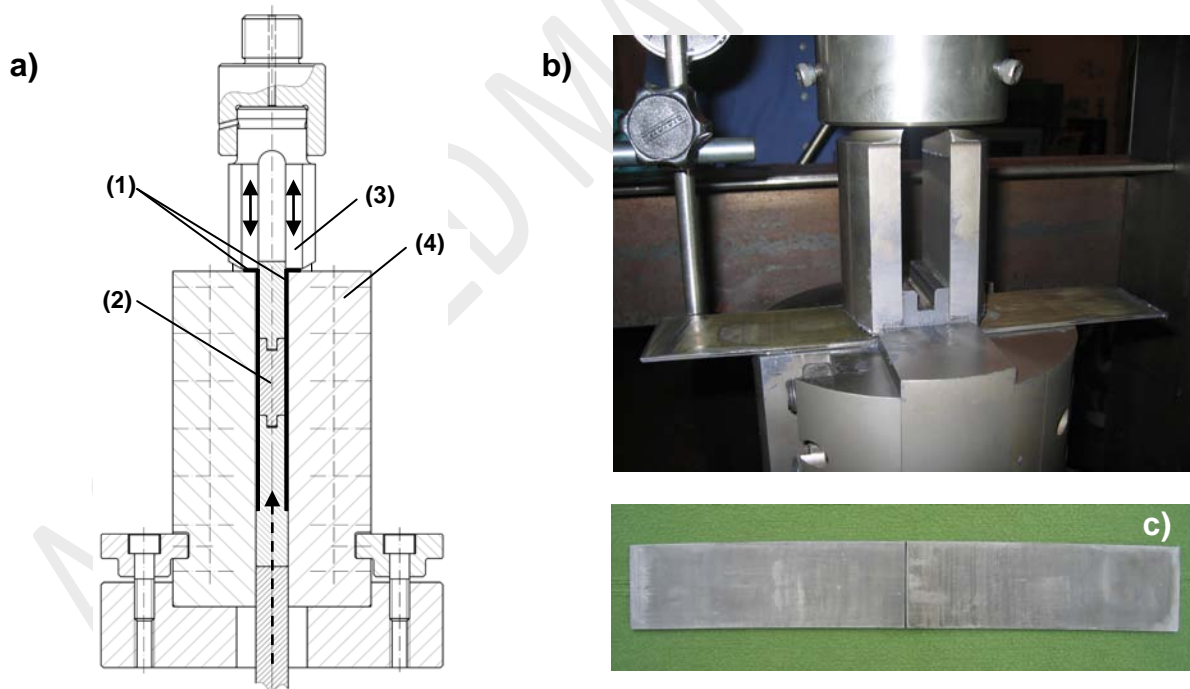
Rys. 1. Zadawanie odkształceń postaciowych: a) przecinanie blachy narzędziami o zaokrąglonych krawędziach tnących (1-zlokalizowane pasmo odkształcenia postaciowego, strzałką zaznaczono ruch stempla), b) rozkład odkształcenia zastępczego  $\epsilon$  w przybrzeżnym obszarze blachy po wykonaniu kilku cykli przyrostowego ścinania stemplem o pochylej powierzchni czołowej

Na Rys. 1b pokazano układ narzędzi do przyrostowego ścinania, w którym poddana przerobowi plastycznemu blacha dodatkowo jest zaginana. Takie wyprowadzenie blachy z przestrzeni roboczej ma szereg zalet. Uniezależnia wartość skoku stempla od kształtu i wymiarów narzędzi a czyni go zależnym od zastosowanego kąta odchylenia powierzchni czołowej stempla od kierunku podawania blachy – na Rys. 1b kierunek ten zaznaczono strzałką narysowaną linią przerywaną. Niebagatelne znaczenie ma również wzrost wydajności, który można uzyskać przez jednoczesny przerób dwu blach, z których jedna będzie wychodzić na jedną, a druga na drugą stronę względem kierunku podawania.

### 3. Urządzenia

Poniżej zostaną przedstawione dwa urządzenia technologiczne, które umożliwiają wytwarzanie wykrojek TSB. W obu przypadkach prostokątne wykrojki blaszane o stosunkowo niedużych rozmiarach są podawane do strefy ścinania za pomocą popychacza a wytwarzane blachy TB mają niewielkie grubości. Obecnie uruchamiana jest maszyna do przerobu pasm grubych, których długość nie będzie ograniczona gdyż posuw uzyskiwany jest działaniem podajnika.

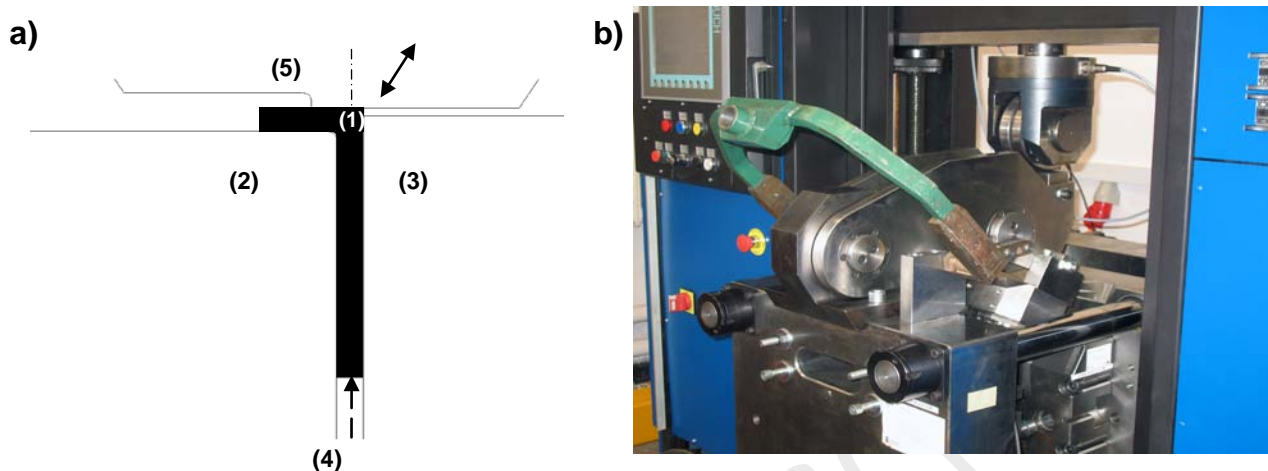
Wydajny sposób wytwarzania wykrojek TSB realizuje urządzenie technologiczne opisane w [8]. Pokazano je na Rys. 2. Urządzenie umożliwia jednoczesny przerób dwu wykrojek (1) o przekroju  $2 \times 50$  mm, które są rozdzielone przez stos segmentów (2) popychacza. Dolny segment wyposażono w uskok, na którym dolną krawędzią opiera się podawana wykrojka. Segmenty spełniają również rolę ruchomej matrycy, która przemieszcza się razem z wykrojką, dzięki czemu nie generuje oporów przy podawaniu wykrojki. Dodatkowo segmenty służą do prowadzenia stempla (3), który w tym celu wyposażono w centralnie umieszczony kanał prowadzący. Gdy segment wypełni całkowicie kanał jest natychmiast z niego usuwany, aby przestrzeń była dostępna dla następnego segmentu, wchodzącego do kanału. Stempel ma kształtową powierzchnię roboczą, aby ułatwić wyprowadzanie wykrojek ze strefy ścinania kierując je na boki. Matryca (4) także ma budowę segmentową. Jej części składowe są ustalone kołkami i związane śrubami. Przedni i tylny segment są wyższe, gdyż stanowią boczne ścianki kanału, którym wykrojki wychodzą ze strefy ścinania.



Rys. 2. Jednoczesny przerób dwu wykrojek TSB: a) konstrukcja zespołu narzędziowego, b) wygląd narzędzi w końcowej fazie operacji przyrostowego ścinania, c) uzyskane w operacji dwie wykrojki

Drugie z urządzeń technologicznych umożliwia uzyskiwanie wykrojek TSB o przekroju poprzecznym  $3 \times 62$  mm. W operacji możliwy jest przerób jednej wykrojki za pomocą stempla, który wykonuje ruchy posuwisto zwrotne pod kątem  $30^\circ$  do kierunku podawania blachy. Konfigurację narzędzi pokazano na Rys. 3. Wykrojka (1) jest przemieszczana do strefy ścinania przez kanał utworzony przez dwie połówki (2) i (3) dzielonej matrycy działaniem popychacza (4). Z uwagi na pochylenie osi działania stempel (5) ścina blachę i

jednocześnie kieruje wychodzącą wykrojkę do kanału wyjściowego. Niewspółosiowość kierunków podawania popychaczem (4) i kształtowania stemplem (5) wymagała zbudowania specjalnego oprzyrządowania i układu napędowego. Urządzenie opisano w [9].

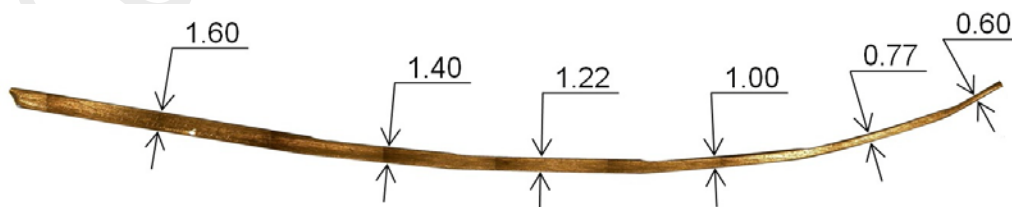


Rys. 3. Przerób pojedynczej wykrojki TSB: a) schemat operacji, b) wygląd zespołu narzędziowego

#### 4. Wykrojki TSB

Zmienną grubość wykrojek TSB uzyskuje się przez dobór dolnego położenia stempla w stosunku do grubości blachy. Jeżeli czoło stempla zatrzyma się w odległości mierzonej do powierzchni matrycy w odcinku wyjściowym, która jest równa grubości blachy, to wykrojka zachowa pierwotną grubość. Zatrzymanie powyżej tej odległości pogrubia blachę, a obniżenie poniżej – blachę pocieni. Wspomniane zmiany dolnego położenia stempla mogą odbywać się w sposób ciągły lub w stopniowo, dając natychmiast wyraźną zmianę grubości.

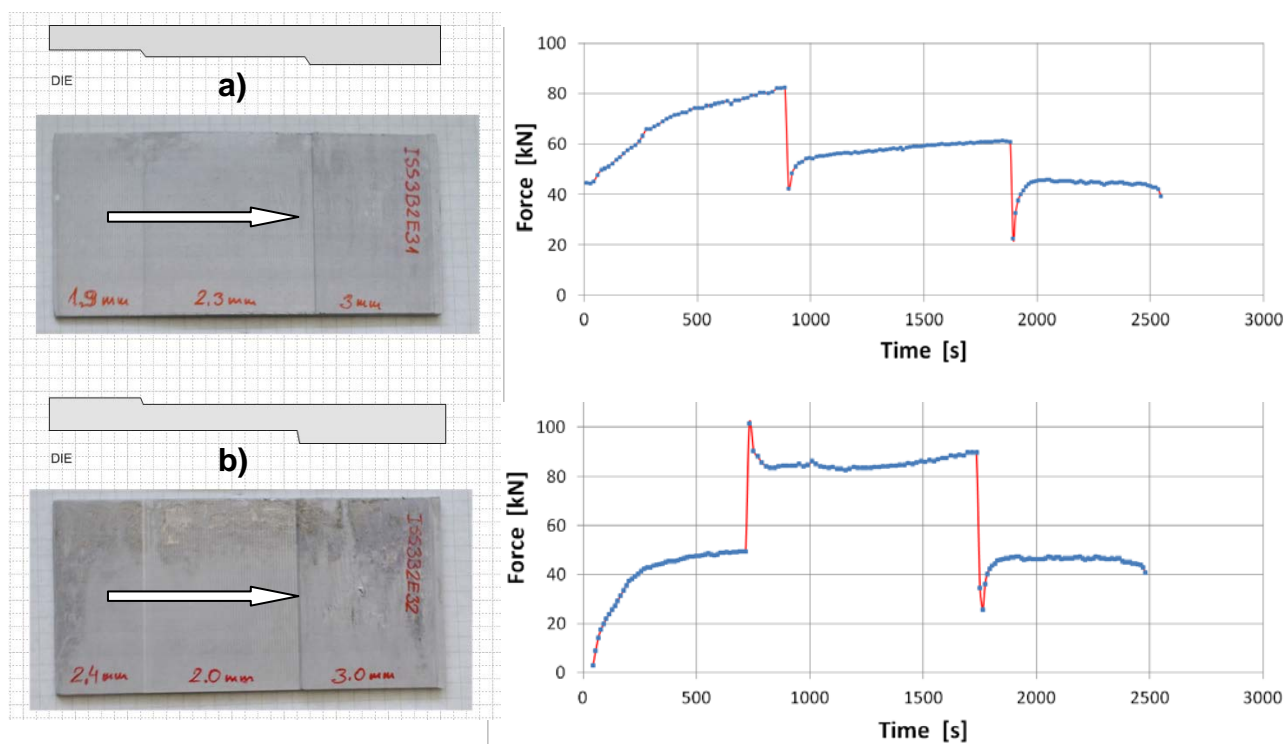
Aby sprawdzić realność opisanej propozycji wykonano wstępne próby przyrostowego ścinania blach aluminiowych w gatunku 1050 z użyciem obu będących do dyspozycji urządzeń technologicznych. Na urządzeniu z Rys. 2 obniżano sukcesywnie położenie stempla w czasie trwania operacji i wykonano z blachy o grubości 2mm wykrojkę TSB o długości ok. 190mm, której grubość zmniejszała się w sposób łagodny aż do 0,6 mm. Tak znaczne pocienienie blachy (70 % początkowej grubości) spowodowało wygięcie wykrojki. Profil wykrojki, która uzyskała cechy wyrobu gradientowego wskutek zmiennej grubości, pokazano na Rys. 4.



Rys. 4. Wykrojka TSB o cechach wyrobu gradientowego

Na urządzeniu z Rys. 3 wykonano próby zmierzające do pokazania w jednej wykrojce TSB połączonego efektu pogrubiania i pocieniania blachy. Położenie stempla zmieniano stopniowo starając się uzyskać trzy wyraźnie oddzielone strefy o różnej grubości blachy. Na Rys. 5 po lewej stronie pokazano profile i wygląd wykrojek TSB o trzech grubościach, a po prawej stronie przebieg zmian siły wywieranej przez stempel w czasie wykonywania operacji

przyrostowego ścinania. Wykrojka na Rys. 5a reprezentuje przypadek, w którym blacha jest stopniowo pogrubiana ze stopniami występującymi od strony matrycy. Wykrojka TSB z Rys. 5b ilustruje możliwość uzyskiwania stopni, po obu stronach blachy. W tym przypadku blacha jest początkowo pocieniana z różną mocą po czym następuje pogrubianie.



Rys. 5. Możliwe do uzyskania wykrojki TSB o stopniowo zmieniającej się grubości (strzałka wskazuje kierunek przerobu)

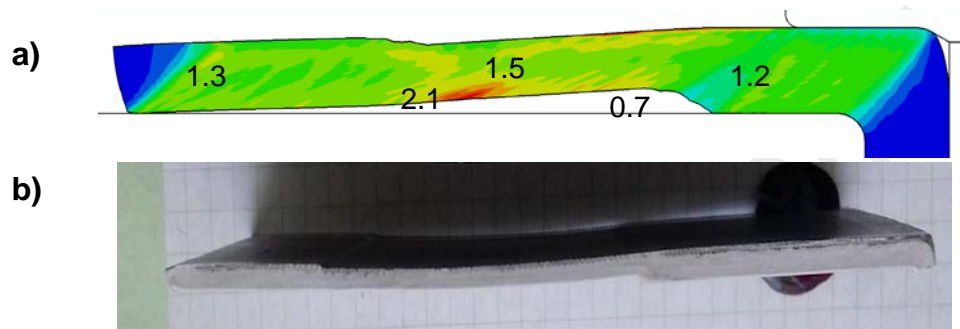
## 5. Symulacja

Aby uzyskać więcej informacji o jednorodności plastycznego płynięcia przeprowadzono symulację metodą elementów skończonych pakietem Abaqus/Explicit. Analizowano proces przyrostowego ścinania jak na Rys. 3a ze zmianą grubości blachy w trzech obszarach jak na Rys. 5b. Aluminium 1050 zamodelowano jako sprężysto-plastyczny i izotropowy materiał podlegający prawu Hubera. Model tarcia zawierał zależność Coulomba ze współczynnikiem  $\mu=0,1$ . Amplituda ruchu stempla wynosiła 2mm, a posuw blachy 0,6mm. Stempel poruszał się pod kątem  $45^\circ$  w stosunku do kierunku podawania z dużą częstotliwością (dla skrócenia czasu obliczeń). Na Rys. 6 pokazano wynik symulacji i porównanie z profilem uzyskanej wykrojki TSB (w celu ułatwienia porównania wyników na Rys. 6 analizowano skrócone strefy a grubość wykrojki powiększono). Pomimo odstępstw w symulacji od rzeczywistego procesu wynik jest zadowalający. Uskoki powstają po stronie stempla, gdy grubość blachy maleje a gdy rośnie – pojawiają się po stronie matrycy.

## 6. Podsumowanie

Wykazano, że przyrostowe ścinanie blachy można wykorzystać do wytwarzania wykrojek typu TB z jednego kawałka blachy. Zaproponowano dwie konfiguracje narzędzi realizujących przyrostowe ścinanie, które umożliwiają produkcję wykrojki typu TSB możliwą do wykonania także na prasach (Rys. 2). Ta właśnie konfiguracja sprawdziła się w wytwarzaniu

wykrojek TSB o łagodnie zmieniającej się grubości blachy wzdłuż długości wykrojki. Blacha w wykroju o cechach wyrobu gradientowego została stopniowo zmniejszona łagodnie aż o 70%. Druga konfiguracja narzędzi do przyrostowego ścinania – wymagająca zastosowania nietypowego dla pras, specjalnego rozwiązania układu napędu stempla – umożliwia wytwarzanie zaprojektowanych wykrojek w cyklu automatycznym przez zaprogramowanie dolnego położenia stempla. Uzyskiwane wykrojki TSB mogą mieć uskoki po obu stronach blachy a oprócz pocieniania blacha może być także pogrubiana. Pomimo pewnych rozbieżności zmieniającej nieco warunki ścinania, symulacja metodą elementów skończonych dała wynik zmiany grubości odpowiadający rzeczywistym wymiarom wykrojki TSB.



Rys. 6. Symulacja operacji wykonania wykrojki TSB o trzech obszarach różniących się grubością blachy: a) rozkład odkształcenia zastępczego, b) zdjęcie rzeczywistego profilu wykrojki TSB

Metoda TSB oferuje większe możliwości niż obecnie stosowane sposoby produkcji wykrojek typu TB zarówno w zakresie zmiany grubości jak i długości stref przejścia.

- 
- [1] Kubel E.: Manufacturers want more tailored blanks. *Manufacturing Engineering* 119 (1997), pp.38-45
  - [2] Zadpoor A.A., et al.: Mechanics of tailor welded blanks: an overview. *Key Engineering Materials*. 344 (2007), pp.373-382
  - [3] Kopp R., Wiedner C., Meyer A.: Flexibly rolled sheet metal and its use in sheet metal forming. *Advanced Materials Research* 6-8 (2005), pp.81-92
  - [4] Pinard F., Cretteur L., Sener J.-Y.: State of the art regarding design, modelling and processing of spot-welded patched blanks for the automotive industry. *Proceedings of the IDDRG Conference*. Sindelfingen, Germany, pp.174-181
  - [5] Zadpoor A.A., et al.: Bendability of machined aluminium Tailor-made blanks. *International Journal of Material Forming*. 2 (2009)1, pp.821-824
  - [6] Merklein M., Johannes M., Lechner M., Kuppert A.: A review on tailored blanks - Production, applications and evaluation. *Journal of Materials Processing Technology*. 214 (2014) pp.151-164
  - [7] Rosochowski A., Olejnik L., Rosochowska M.: Tailored sheared blanks produced by incremental ECAP. *Key Engineering Materials*. 651-653 (2015), pp.651-656
  - [8] Rosochowski A., Rosochowska M., Olejnik L., Verlinden B.: Incremental equal channel angular pressing of sheets. *Steel Research International*. 81 (2010) 9, pp.470-473
  - [9] Olejnik L.: Technika wytwarzania ultradrobnoziarnistych metali i stopów metodą przeciskania przez kanał kątowy. *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Mechanika*. z.240 (2012), pp.215

## **TAILORED BLANKS FABRICATED BY INCREMENTAL SHEARING**

**Incremental shear has been used to vary blank thickness along its length. The method has been proved to manufacture so called Tailor Sheared Blanks featuring both gradually and stepwise varying thickness of the sheet. Tool configuration, produced tailored blanks and simulation of the incremental shear process for shaping of TSB were described.**