



2015

**Fizyczne i Matematyczne Modelowanie
Procesów Obróbki Plastycznej**

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

PRACE NAUKOWE • MECHANIKA • z.267**L. Olejnik, Politechnika Warszawska, J. Goliński, Politechnika Warszawska,
A. Rosochowski, University of Strathclyde, Glasgow**

WYTWARZANIE WIELOFUNKCYJNYCH BLACH TECHNIKĄ ŚCINANIA

Zadawanie odkształceń postaciowych sposobem przyrostowym zaproponowano do wytwarzania wielofunkcyjnych wykrojek o zmiennych właściwościach (tzw. Tailored Blanks) przy zachowaniu niezmienniej grubości blachy. Opisano narzędzia umożliwiające przyrostowe ścinanie blachy oraz podano procedurę wykonania wykrojek, którą sprawdzano drogą symulacji i przez doświadczenie. Wykrojki wytwarzane proponowaną metodą nazwano wykrojkami TSB (Tailor Sheared Blanks).

1. Wprowadzenie

Pierwsze wielofunkcyjne pakiety blach (tzw. Tailored Blanks) w produkcji masowej zaczęto stosować na początku lat 90 ubiegłego wieku (Volkswagen Golf) [1]. Były to wykrojki ze spawanych kawałków blach o różnej grubości. Wkrótce ok. 12 firm w Europie zaczęło dostarczać wykrojki typu TWB (Tailor Welded Blanks) wykonane z konwencjonalnych stali do tłoczenia a także stali stopowych. Te ostatnie pojawiły się w propozycji TB, gdyż różnica grubości blach w wykrojkach TWB nie była wystarczająca do wymaganego zróżnicowania właściwości. Obecność spoiny ma niestety niekorzystny wpływ na przebieg tłoczenia, gdyż w wyniku spawania mikrostruktura materiału obrobionego plastycznie jest zamieniana na mikrostrukturę odlewniczą. Skutkuje to obniżeniem ciągliwości w stosunku do materiału rodzimego (w przypadku stopów aluminium) lub – w przypadku blach stalowych – wzrostem twardości (zależnym od zawartości węgla). Inne wady procesu spawalniczego, jak strefa wpływu ciepła, niejednorodność składu chemicznego w spoinie i pojawianie się porów, sprawiają, że właściwości mechaniczne wykrojki TWB podlegają większemu rozrzutowi niż wykrojki jednolitych (monolitycznych).

Chociaż wykrojki TWB pozwalają na połączenie sterowania różnicowaniem grubości i właściwości blachy, to wynikająca z tego faktu możliwość przystosowania wytłoczki do wymogów eksploatacyjnych jest ograniczona. Jest to szczególnie trudne w przypadku wytłoczek o złożonych kształtach. Znaczna różnica grubości w wykrojce utrudnia tłoczenie zmuszając do korekty kształtu czołowej powierzchni stempla i stosowania elastycznych przekładek na dociskaczu. Dlatego z zainteresowaniem odbierane są propozycje różnicowania właściwości bez zmiany grubości blachy. Intensywnie poszukuje się również takich sposobów wytwarzania wykrojki TB, w których poszczególne obszary nie są łączone lecz stanowią jeden lity kawałek blaszanego materiału. Monolityczne wykrojki TB o jednakowej grubości lecz różnych właściwościach materiału blachy można uzyskać stosując obróbkę cieplną materiału wykrojki w wybranych obszarach jej powierzchni. Pomysł został zgłoszony dość dawno [2] i polegał na lokalnym osłabieniu blachy przesyconej i starzonej przez rozpuszczenie wydzielen. Taką propozycję pod nazwą THTB (Tailor Heat Treated Blanks) kontynuowano [3] pokazując za pomocą symulacji metodą elementów skończonych

zwiększenie głębokości wytłoczek. Właściwości blachy zmieniano lokalnie wpływając na strukturę stopu aluminium za pomocą obróbki laserowej. Zauważono przy tym, że niejednorodne właściwości wykrojek THTB skutkują złożonością zniszczenia co utrudnia przewidywanie granicznych odkształceń w procesach tłoczenia. Niemniej opracowana procedura została zastosowana w przedprodukcyjnej fazie seryjnego wytwarzania elementów karoseryjnych [4].

Stan prac badawczych w zakresie metod wytwarzania wykrojek typu TB dyskutowano w przeglądowej publikacji [5], w której krytycznie oceniono potencjał w zakresie produkcji wykrojek TB. Na liście ocenianych metod nie ma propozycji wytwarzania wykrojek przez różnicowanie właściwości blachy drogą umocnienia z zastosowaniem jedynie obróbki plastycznej. W niniejszym referacie zostanie przedstawiona nowa metoda TSB (Tailor Sheared Blanks) [6] służąca wytwarzaniu wykrojek TB, w której do zmiany właściwości blachy zastosowano schemat odkształcenia oparty na prostym ścinaniu.

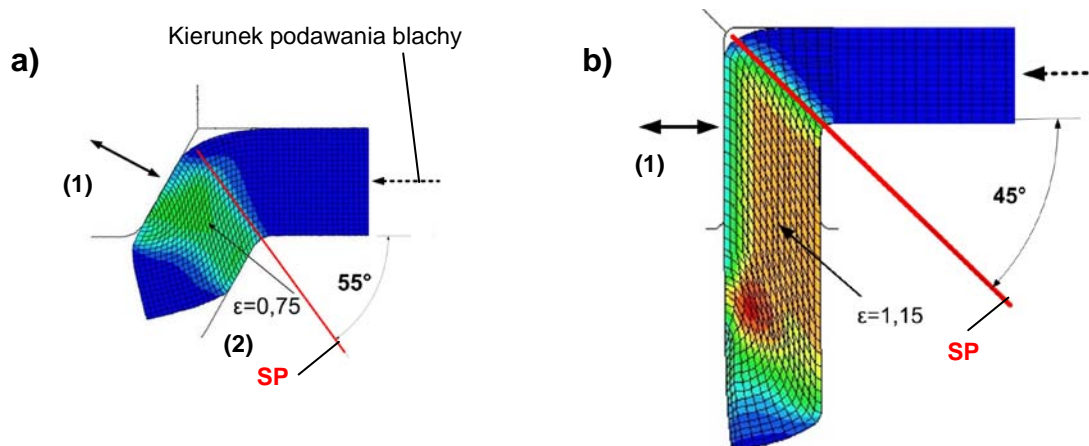
2. Metoda

W proponowanej metodzie wykorzystano odkształcenia ścinające, wytwarzane w sposób charakterystyczny dla cięcia. Przy cięciu blacha jest poddawana działaniu pary narzędzi, które wywierają obciążenie powodując lokalne uplastycznienie materiału. Odpowiednio wczesne zatrzymanie procesu cięcia nie doprowadzi do rozdzielenia. Aby obszar odkształcenia plastycznego objął większą objętość materiału blacha musi być okresowo przesuwana względem narzędzi tnących w kierunku prostopadłym do krawędzi tnących. Właśnie na tej zasadzie została zbudowana przyrostowa metoda kształtowania plastycznego blachy odkształceniami postaciowymi TSB, która umożliwia wytwarzanie wykrojki typu TB o stałej grubości. Zwróćmy uwagę, że przez użycie przy cięciu przeciwstempla – o odpowiednio małej powierzchni czołowej – stosunkowo łatwo można zmniejszyć grubość „nadcinanej” blachy uzyskując dodatkowe odkształcenie plastyczne. Wartość sumarycznego odkształcenia plastycznego zależy nie tylko od wielkości zagłębienia stempla w blachę i odległości między czołami stempla i przeciwstempla, ale również od warunków prowadzenia nadcinań, określonych przez wartość luzu i zaokrąglenie krawędzi stempla i matrycy. Toteż sterowanie procesem wytwarzania odkształceń ścinających jest trudne. Dlatego zmieniono kierunek odprowadzania blachy ze strefy ścinania dzięki czemu wartość odkształcenia ścinającego staje się zależna tylko od kąta jaki płaszczyzna ścinania SP tworzy z kierunkiem podawania blachy. Na Rys. 1 pokazano rozkłady odkształcenia przy dwóch różnych kątach przyrostowego ścinania stemplem (1), które rozpoczęto od obrzeża blachy cyklicznie podając ją w kierunku oznaczonym strzałką narysowaną linią przerywaną.

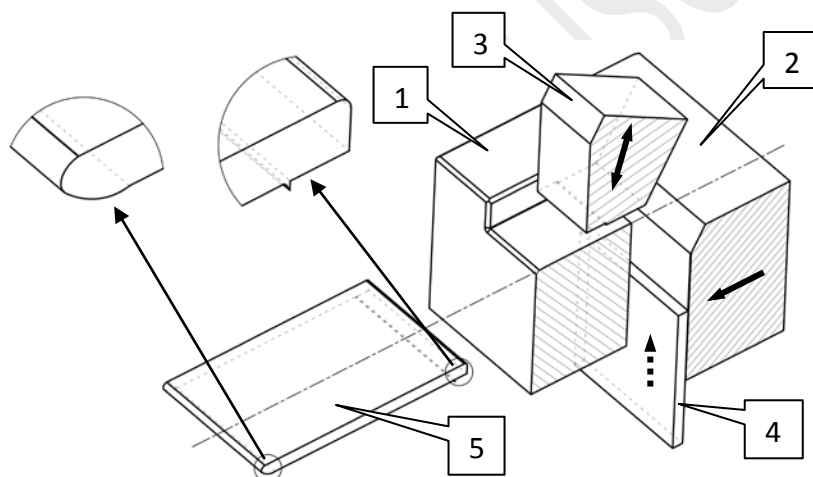
3. Narzędzia

Schemat zestawu narzędziowego wraz z modelem wykrojki po przerobie przedstawiono na Rys 2. Nieodkształcona jeszcze wykrojka zamykana jest w kanale utworzonym przez domknięcie dwudzielnej matrycy, z której stała połówka (1) zawiera dodatkowo kanał wyjściowy poprowadzony pod żądanym kątem w stosunku do kanału wejściowego, a ruchoma połówka (2) służy do zamykania odcinka wejściowego kanału. Stempel (3) wykonując skośny ruch roboczy cyklicznie zamaka i otwiera odcinek wyjściowy kanału. W czasie odejścia stempla wykrojka jest przesuwana ku stempelowi popychaczem (4) o zadaną wartość posuwu. Posuw s jest związany z grubością a blachy przy czym pożądana jest następująca relacja $0,3 \cdot a > s > 0,05 \cdot a$ [7]. W każdej chwili operacja cyklicznego zadawania odkształceń postaciowych może być przerwana w celu wyjęcia lub włożenia wykrojki.

Prostokątna wykrojka (5) ścinana na całej długości ma charakterystyczny kształt krawędzi czołowej i końcowej, które w lewym górnym rogu rysunku pokazano w powiększeniu.



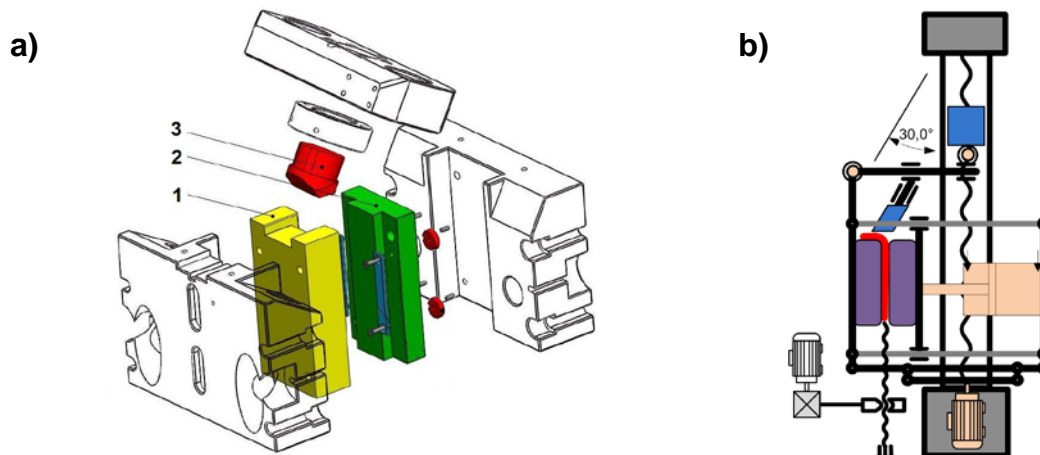
Rys. 1. Rozkład odkształcenia zastępczego ϵ w przybliżonym obszarze blachy po wykonaniu kilku cykli przyrostowego ścinania stemplem (1) działającym w kierunku nieprostym do powierzchni podawanej blachy: a) stempel działający skośnie, b) stempel działający w płaszczyźnie podawanej blachy



Rys. 2. Zestaw narzędzi do przyrostowego zadawania odkształceń ścinających w wykrojkach: 1- matryca stała, 2-matryca dociskająca, 3-stempel, 4-popychacz, 5-wykrojka odkształcona postaciowo na całej długości

Model przyrządu zapewniający opisaną pracę narzędzi pokazano na Rys. 3. Widać na nim trzy wspomniane narzędzia i płyty służące do zabudowy matryc (1 i 2) i stempla (3), z których „wyjęto” elementy układu prowadzenia. Z powodu zastosowania skośnego ruchu stempla przyrząd otrzymał dwa układy prowadzenia słupowego. Wszystkie części tego przyrządu wykonano z elementów kupowanych u dostawców normalistów do tłoczników i form. Przyrząd zabudowano w czterokolumnowym układzie zwierającym niewielkiej wtryskarki i całość osadzono w przestrzeni maszyny wytrzymałościowej. Schemat działania utworzonego w ten sposób urządzenia technologicznego pokazano na Rys. 3b. Ponieważ maszyna wytrzymałościowa nie ma napędu dolnego to dla uzyskania efektu podawania wykrojki w łożu wtryskarki zamontowano dodatkowo popychacz z napędem elektrycznym. Przeniesienie napędu z poprzeczki maszyny na skośnie poruszany stempel realizuje dźwignia. Zespół narzędziowy wraz z układem zwierającym wtryskarki ma zwartą budowę i może być przenoszony w celu instalowania na prasach ogólnego przeznaczenia. W połączeniu z wymianą stempli i matryc umożliwia to wykonywanie wykrojek o różnych rozmiarach. Obecnie używany zestaw narzędziowy służy do przerobu wykrojek prostokątnych o przekroju

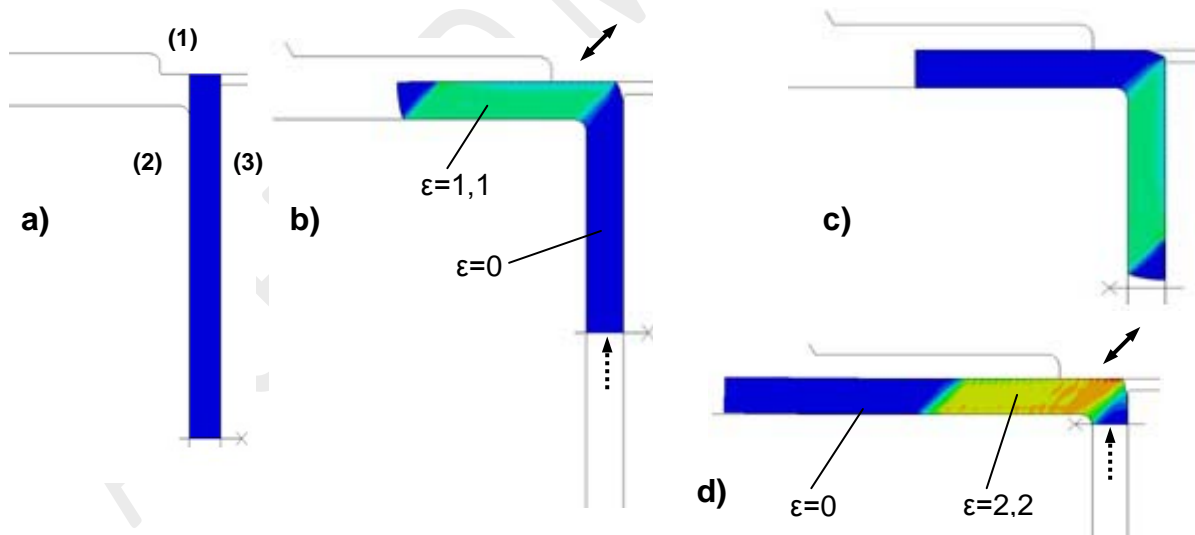
poprzecznym 3×62 mm za pomocą stempla, który wykonuje ruchy posuwisto zwrotne pod kątem 30° do kierunku podawania blachy.



Rys. 3. Elementy urządzenia technologicznego do przyrostowego ścinania w płaskim stanie odkształcenia: a) zespół narzędziowy, b) schemat realizacji napędów osi roboczych urządzenia

4. Symulacja

Kumulowanie odkształcenia plastycznego uzyskuje się przez przerób wykrojek prostokątnych na części ich długości. Przerób ten można ponawiać wielokrotnie, ponieważ blacha nie zmienia grubości. W celu uzyskania informacji o jednorodności plastycznego płynięcia przeprowadzono symulację metodą elementów skończonych pakietem Abaqus/Explicit, której wynik pokazano na Rys. 4.



Rys. 4. Symulacja operacji wykonania wykrojki TSB o dwóch obszarach różniących się właściwościami materiału blachy: a) położenie wyjściowe wykrojki, b) zakończony pierwszy przerób na 1/2 długości wykrojki, c) wykrojka przygotowana do drugiego przerobu, d) zakończony drugi przerób na 1/2 długości wykrojki

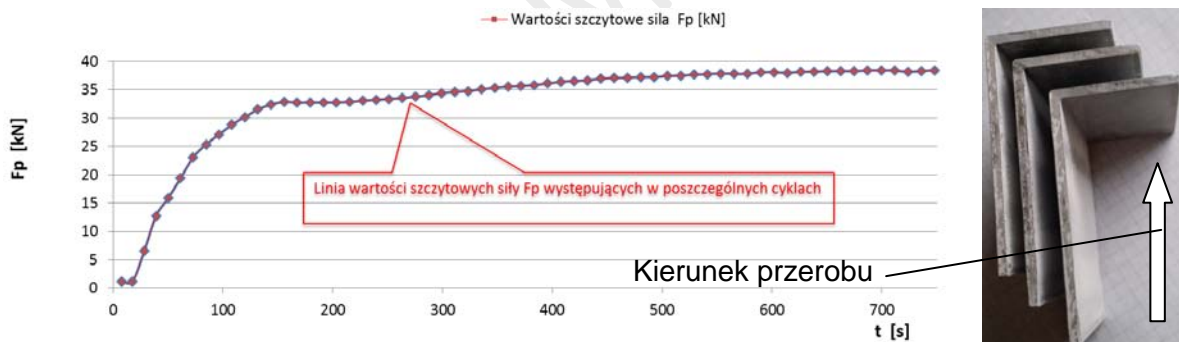
Materiał blachy był ciałem sprężysto-plastycznym ze wzmocnieniem izotropowym. Dane materiałowe przyjęto dla aluminium w gatunku 1070 z następującymi wartościami: $\rho=2700 \text{ kg/m}^3$, $E=6,9e^{+10} \text{ N/m}^2$, $\nu=0,3$. Założono, że w zakresie odkształceń plastycznych materiał podlega prawu Hubera i umacnia się zgodnie z równaniem o postaci

$\sigma = 159(0,02 + \varepsilon)^{0,27}$ MPa. Model tarcia zawierał zależność Coulomba ze współczynnikiem $\mu=0,1$. Zarys narzędzi do operacji przyrostowego ścinania w płaskim stanie odkształcenia odpowiada zestawowi narzędziowemu z Rys. 3. Jedynym odstępstwem jest kierunek ruchu stempla, który przemieszcza się po linii prostej nachylonej do kierunku posuwu blachy kod kątem 45° . Prostokątny kawałek blachy jest przesuwany wzdłuż kanału działaniem popychacza wykonującego skoki $s=0,6$ mm. Strzałkami zaznaczono ruchy narzędzi.

Wykrojka z Rys. 4d ma dwie strefy różniące się znaczną wartością odkształcenia plastycznego i wynikający stąd znaczny, bo blisko czterokrotny wzrost granicy plastyczności. Przejście między strefami o znacznym stopniu umocnienia łądzi wąski obszar o wartości ε charakterystycznej dla pierwszego przepustu o skośnym kształcie, typowym dla przejścia wsadów przez kanał kątowy. Czoło wykrojki, ponieważ nie doznało ścinania, nie ma kształtu charakterystycznego dla przejścia przez strefę ścinania. Ten stan nie ulegnie zmianie w dalszych przepustach, gdyż fazy zilustrowane na Rys. 4 będą mogły być ponawiane wielokrotnie, aż do uzyskania dodatkowego efektu wzmocnienia, które opisuje zależność Halla-Petcha. Wiadomo bowiem, że schemat odkształcenia oparty na prostym ścinaniu daje rozdrobnienie ziarna, co efektywnie wykorzystuje się w metodzie I-ECAP [7].

5. Wykrojki TSB

Do prób przygotowano wykrojki wykonane z dwóch stopów aluminium, mianowicie miękkiego 1050 i twardego 6005. Wycięto je z blachy o grubości 3mm i poddano odkształceniu przez proste ścinanie. Na Rys. 5 zaprezentowano wynik wstępnego etapu doświadczenia. Po lewej stronie pokazano przebieg zmian siły wywieranej przez stempel w czasie wykonywania operacji przyrostowego ścinania. Po prawej zaś stronie zamieszczono wygląd płytek (faza z Rys. 4b) na wykrojki TSB odkształcone na ok. $\frac{1}{3}$ długości.



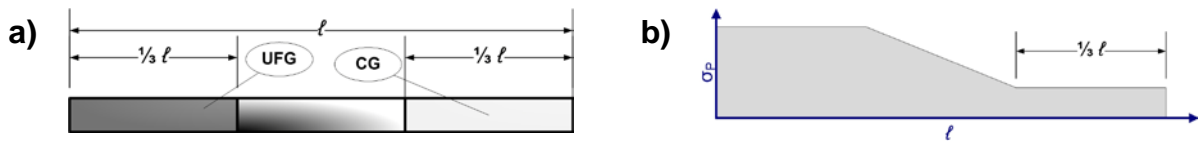
Rys. 5. Przygotówki na jednolite wykrojki TSB o dwóch strefach mających różne właściwości mechaniczne po wykonaniu pierwszego przepustu – blacha 3mm z 1050A-H24

Płytki odkształcano przez ścinanie na mniejszym odcinku niż w symulacji, gdyż zaplanowano uzyskanie wykrojek TSB, w których rozmyta strefa przejścia będzie łączyła dwa obszary o gruboziarnistej strukturze wyjściowej (CG) i strukturze UFG. Założenia do wykonania wykrojek TSB pokazano na Rys. 6. W materiale 1050 można uzyskać strukturę ultradrobnoziarną [8]. W przypadku materiału 6005 plan doświadczenia jest zagrożony, gdyż już w pierwszym przepuszczeniu – prowadzonym w temperaturze otoczenia – w pobliżu czoła płytki pojawiło się pęknięcie poprzeczne.

6. Podsumowanie

Zaproponowano sposób uzyskania jednolitego kawałka blachy o niezmienniej grubości, na powierzchni którego będą wyodrębnione dwa obszary o różnych właściwościach

mechanicznych. Różnica właściwości może być szczególnie duża, gdyż wynika z połączonego działania dwóch efektów: umocnienia odkształceniowego i rozdrobnienia ziarna. Obszary te mogą być przedzielone strefą przejściową o stopniowanej zmianie właściwości.



Rys. 6. Model wykojki TSB (UFG+CG) o jednakowej grubości: a) rozłożenie obszarów o odmiennych właściwościach na długości ℓ , b) schematyczne przedstawienie spodziewanych różnic właściwości mechanicznych (σ_p) w poszczególnych obszarach o długościach $\frac{1}{3}\ell$

Zastosowane przyrostowe wytwarzanie odkształceń postaciowych wywodzi się z cięcia i zostało rozwinięte w metodzie I-ECAP [7]. W obu metodach wielkość odkształcenia postaciowego zależy od kąta pod jakim działa stempel w stosunku do podawanej blachy.

Zestaw narzędziowy do zadawania odkształceń postaciowych w blachach można zbudować zgodnie z wytycznymi dla konstrukcji narzędzi do obróbki plastycznej z wykorzystaniem normalistów stosowanych w tłocznikach i formach wtryskowych. Do zamykania połówek dwudzielnej matrycy zastosowano układ zwierania form wtryskarki. Urządzenie technologiczne można zamontować w przestrzeni prasy ogólnego przeznaczenia.

W odróżnieniu od metody wytwarzania wykojek THTB, która osłabia obszary utrudniające przebieg tłoczenia, metoda uzyskiwania wykojek TSB jest nakierowana na wzmocnienie wybranych obszarów. Kombinacja obydwu metod jest oczywiście możliwa.

Literatura

- [1] Fritsch C., et al.: Fertigen mit Tailored Blanks. Werkstatt u. Betrieb, 132 (1999), pp.16-21
- [2] Vollertsen F., Lange K., Lange K.: Enhancement of Drawability by Local Heat Treatment. CIRP Annals - Manufacturing Technology. 47 (1998) 1, pp.181-184
- [3] Geiger M., Merklein M., Kerausch M.: Finite Element Simulation of Deep Drawing of Tailored Heat Treated Blanks. CIRP Annals - Manufacturing Technology. 53 (2004) 1, pp.223-226
- [4] Merklein M., Geiger M., Staud D., Vogt U.: Tailored heat treated blanks applied on car body parts under quasi-series conditions. Int. J. of Microstructure and Materials Properties. 4 (2009) 5-6, pp.525-533
- [5] 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
- [6] Rosochowski A., Olejnik L., Rosochowska M.: Tailored sheared blanks produced by incremental ECAP. Key Engineering Materials. 651-653 (2015), pp.651-656
- [7] Olejnik L., Rosochowski A.: Przyrostowy sposób przeciskania przez kanał kątowy. Przegląd Mechaniczny. 68(2009)10, pp.22-27
- [8] Chrominski W., Olejnik L., Rosochowski A., Lewandowska M.: Grain refinement in technically pure aluminium plates using incremental ECAP processing. Materials Science & Engineering A. 636 (2015), 172-180

MONOLITIC TAILOR SHEARED BLANKS WITHOUT THICKNESS VARIATION

Incremental shear has been used to vary blank properties along the sheet plane. The feasibility of the method has been investigated to manufacture so called Tailor Sheared Blanks featuring property distribution of the blank without thickness variation. Mechanical properties resulting from evolution of coarse grain microstructure towards ultra fine grain one can be achieved. Tool configuration, experimental procedure, simulation using finite element method and preliminary trials of producing tailored blanks by incremental shear were described.