

Dr inż. Grzegorz SAMOŁYK  
Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Lublin

# Zastosowanie prasowania obwiedniowego do wytwarzania tarczy sprzęgła kłowego wykonanego ze stopu AlMgSi

## *The application of orbital forging to the production of AlMgSi alloy claw clutch rings*

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono wybrane wyniki analizy numerycznej prasowania obwiedniowego tarczy posiadającej trzy występy kłowe. Założono, że narzędzia wykonują ruch złożony, a tarcza (element składowy sprzęgła sprężystego kłowego) wykonana ze stopu AlMgSi jest kształtowana na zimno. Analiza termo-mechaniczna została wykonana za pomocą programu Deform-3D, który bazuje na metodzie elementów skończonych. Uzyskane wyniki obliczeń przedstawiają przede wszystkim znaczenie prędkości liniowej matrycy dolnej na wielkość siły prasowania oraz na zdolność wypełnienia wykroju roboczego przez materiał. Ponadto, autor porównał wyniki symulacji procesu prasowania obwiedniowego z tradycyjnym procesem wyciskania przeciwbieżnego tarczy sprzęgła kłowego.

### **Abstract**

*The article presents selected results obtained from a numerical analysis of orbital forging of a ring with three claws. It has been assumed that the dies make a resultant motion and that the AlMgSi alloy ring, which forms part of the flexible elastomeric couplings, is cold formed. The thermo-mechanical analysis has been conducted with the Deform-3D software which is based on the finite element method. The obtained results primarily show how the lower die linear velocity affects the forging force and die cavity filling. Furthermore, the author compares the results of the conducted orbital forging simulation with a conventional method of producing claw clutch rings in backward extrusion.*

**Słowa kluczowe:** prasowanie obwiedniowe, tarcza sprzęgła kłowego, MES, stop AlMgSi

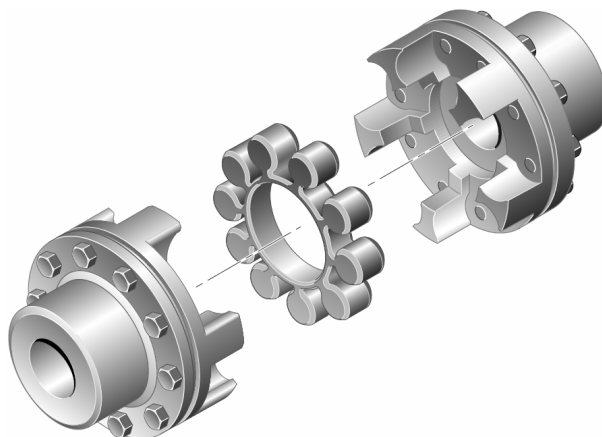
**Key words:** orbital forging, claw clutch ring, FEM, AlMgSi alloy

## **1. WPROWADZENIE**

Większość części maszyn jest wytwarzana metodami obróbki plastycznej na gorąco (kucie matrycowe, wyciskanie itp.) oraz skrawaniem. Przykładem takich części mogą być niektóre elementy składowe sprzęgła kłowego [1], np. tarcze (rys. 1), które mogą być wykonywane z różnych materiałów metalowych (stal, stop aluminium, stop tytanu), w zależności od zastosowania. Ze względu na charakterystyczny płaski kształt takich przedmiotów, do ich wytwarzania wskazane byłoby zastosowanie technologii prasowania obwiedniowego [2, 3].

## **1. INTRODUCTION**

*Most machine parts are produced with hot working methods, such as die and extrusion forging, or with machining. Such machine parts include certain components of a claw clutch [1] like its rings (Fig. 1) which, depending on their application, can be made of steel, aluminium or titanium alloys. Owing to their characteristic flat shape, it is advisable to produce such machine parts in orbital forging [2, 3].*



Rys. 1. Sprzęgło sprężyste kłowe TSCHAN S-SV [1]

Fig. 1. TSCHAN S-SV flexible elastomeric coupling [1]

W artykule przedstawiono wyniki analizy numerycznej wytwarzania tarczy sprzęgła kłowego, wykonanej ze stopu aluminium, metodą prasowania obwiedniowego na zimno. Z uwagi na kształt wyrobu, zdecydowano się na prasowanie sposobem wyciskania, gdzie stempel wykonuje złożony ruch wahający, po trzylistnej rozecie. Ponadto, zaproponowano dwa warianty procesu kształtowania, które różnią się prędkością (posuwem) matrycy. Uzyskane wyniki z symulacji numerycznej procesu prasowania obwiedniowego porównano z tradycyjnym procesem wyciskania przeciwbieżnego.

## 2. ODKUWKA TARCZY SPRZĘGŁA

Odkuwka (wypraska) tarczy sprzęgła kłowego przedstawiona została na rys. 2. Jest to rysunek uproszczony, zawierający jedynie wybrane wymiary. Kształt wypraski został opracowany na podstawie elementu składowego sprzęgła kłowego sprężystego typu SV-105 firmy Tschan® GmbH [1].

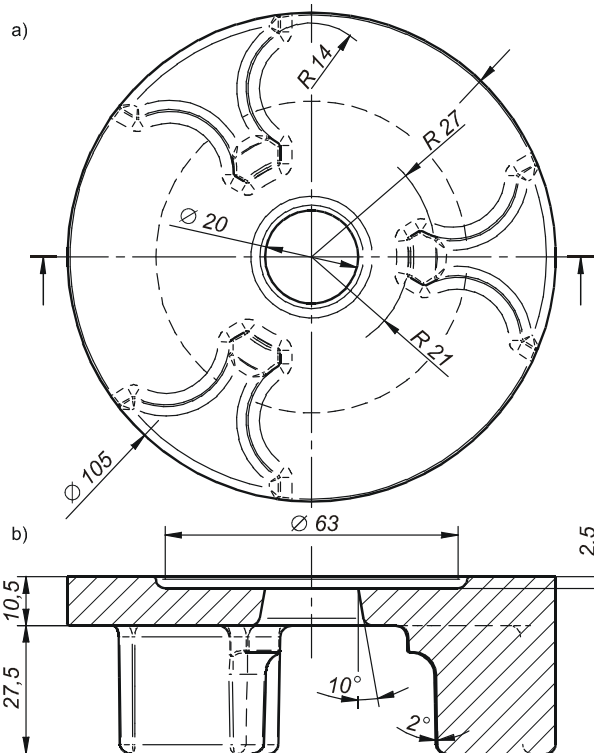
Projektując odkuwkę tarczy sprzęgła kierowano się podstawowymi zasadami obowiązującymi w technologii prasowania obwiedniowego realizowanej na prasach z serii PXW [4, 5]. Przyjęto, że wypraska jest wykonana ze stopu aluminium AlMgSi [6] oraz jest kształtowana na zimno z pierścienia.

*The article presents numerical analysis results of producing an aluminium alloy claw clutch ring in orbital cold forging. Due to its shape, the product is forged by means of extrusion with the upper die rocking across the workpiece in a planetary pattern. Additionally, the article suggests two variants of the orbital forging process which differ in terms of die velocity (feed rate). The results obtained from the orbital forging process are then compared with conventional backward extrusion.*

## 2. CLAW RING FORGING

*Fig. 2 presents a claw ring forging. This simplified scheme shows only selected dimensions. The shape of the forging has been developed after a flexible elastomeric coupling type SV-105 produced by Tschan® GmbH [1].*

*The claw ring forging has been designed in accordance with the basic principles of orbital forging on PXW presses [4,5]. It has been taken that the ring-shaped workpiece is made of aluminium alloy AlMgSi [6] and is cold formed.*



Rys. 2. Rysunek odkuwki tarczy sprzęgła kłowego wykonanej ze stopu AlMgSi  
 Fig. 2. Schematic illustration of a claw clutch ring forging made of the AlMgSi alloy

Pozwoliło to uzyskać wypraskę z otworem centralnym o średnicy  $\varnothing 20$  mm (oryginalna tarcza –  $\varnothing 42$  mm), którego powierzchnia boczna jest pochylona tak, aby usunięcie, umieszczonego na wypychaczu, trzpienia z wypraski nie sprawiało trudności. Występy kłowe wykonano na gotowo z niewielkim naddatkiem na wykańczającą obróbkę mechaniczną jedynie na powierzchniach roboczych, które stykają się z elementem podatnym sprzęgła.

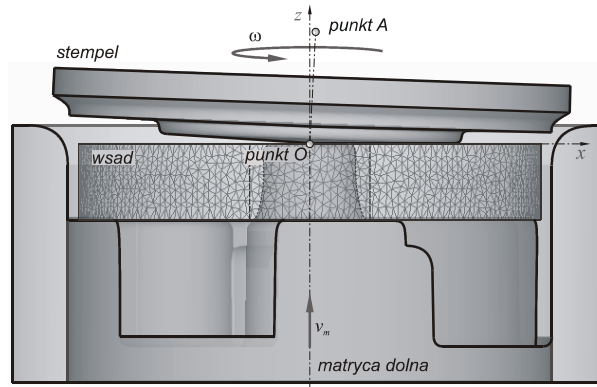
### 3. MODEL NUMERYCZNY PROCESU PRASOWANIA OBWIEDNIOWEGO TARCZY SPRZĘGŁA

Analizę numeryczną procesu prasowania obwiedniowego tarczy sprzęgła wykonano za pomocą programu komputerowego Deform-3D, bazującego na metodzie elementów skończonych. Model geometryczny procesu kształtowania przedstawiono na rys. 3.

*As a result, the formed forging has a central hole of 20 mm in diameter (hole of the original ring is 42 mm), whose lateral surface is tilted in such a way so that a mandrel placed on the ejector could be removed easily. The finished claws have a small machining allowance only on the working surfaces which are in contact with an elastic buffer ring.*

### 3. NUMERICAL MODEL OF THE CLAW RING ORBITAL FORGING PROCESS

*The numerical analysis of the claw ring orbital forging process has been made with the Deform-3D software which is based on the finite element method. The geometrical model of the forging process is presented in Fig. 3.*



Rys. 3. Model geometryczny procesu prasowania obwiedniowego tarczy sprzęgła

Fig. 3. Geometrical model of the claw ring orbital forging process

Obliczenia termo-mechaniczne wykonano zakładając, że materiał wsadowy (pierścień o wymiarach  $\varnothing 100$  mm x  $\varnothing 26$  mm x 16,4 mm) jest podzielony na ponad 46 tysięcy elementów tetragonalnych. Przyjęto, że wypraska jest wykonana ze stopu aluminium AlMgSi (stan zmięczony), dla którego krzywa umocnienia ma postać [4]:

$$\sigma_p = 684 \cdot \varphi^{0,098} \cdot \dot{\varphi}^{0,134} \cdot \exp(-0,0058 \cdot T) \quad (1)$$

gdzie:

$T$  – temperatura materiału.

Proces kształtowania jest realizowany na zimno, a początkowa temperatura wsadu  $T = 20$  °C.

Narzędzia użyte w symulacji procesu prasowania są obiektami sztywnymi. Stempel wykonuje ruch wahający po 3-listnej rozecie (rys. 4) z prędkością  $\omega = 150$  wahań·min<sup>-1</sup>.

Schemat tego ruchu można przedstawić schematycznie za pomocą toru punktu A na płaszczyźnie czołowej  $xy$  (rys. 3, rys. 4) pamiętając jednocześnie, że ruch stempla jest specyficznym ruchem kulistym o środku w punkcie O. W efekcie, wychylenie osi stempla (odcinek OA) od osi  $z$  (kierunku ruchu matrycy) zmienia się w sposób cykliczny od zera do wartości maksymalnej wynoszącej 2°. Ramiona rozety są tak zorientowane, aby nacisk stempla skupiał się (cyklicznie) dokładnie w miejscu wyciskanych występów wypraski.

For the thermo-mechanical calculations it has been taken that the ring-shaped workpiece, with its dimensions being 100 x 26 x 16.4 mm, is divided into over forty-six thousand of tetragonal elements. It has also been taken that the workpiece is made of aluminium alloy AlMgSi (in the soft state) whose flow stress curve takes is defined as [4]:

$$\sigma_p = 684 \cdot \varphi^{0,098} \cdot \dot{\varphi}^{0,134} \cdot \exp(-0,0058 \cdot T) \quad (1)$$

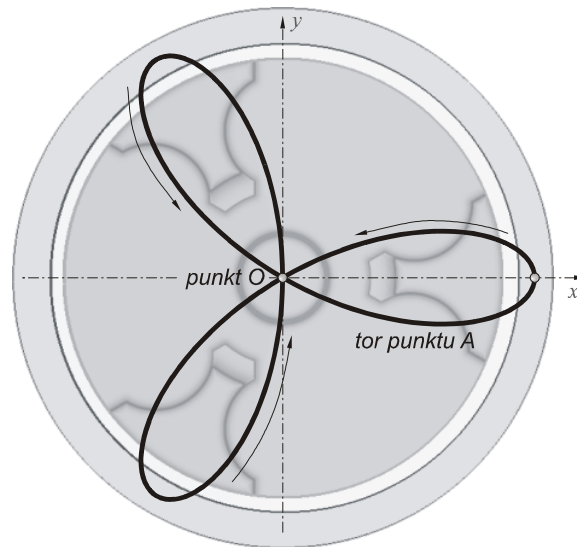
where:

$T$  is the material temperature.

The workpiece is cold formed and its initial temperature  $T$  is of 20°C.

The tools used in the orbital forging simulation are rigid. The upper die rocks across the workpiece in a planetary pattern (Fig. 4) and its velocity  $\omega = 150$  rocks·min<sup>-1</sup>.

The motion can be schematically shown with a planetary path of point A on front plane  $xy$  (Fig. 3, Fig. 4), remembering that the upper die makes a peculiar spherical motion whose centre is point O. As a result, the upper die axis deflection (OA segment) from axis  $z$  (the direction in which the lower die moves) fluctuates between zero and the maximum value of 2°. Moving in a planetary pattern, the upper die cyclically presses the place on the workpiece where the claws are to be forged.



Rys. 4. Kształt toru punktu A na płaszczyźnie  $xy$  oraz na tle kształtu wypraski

Fig. 4. Shape of the planetary path of point A on plane  $xy$  and against the forging shape

Z kolei matryca dolna (w analizie numerycznej zastosowano jedno narzędzie powstałe z połączenia z matrycy, wypychacza oraz obejm) wykonuje ruch prostoliniowy z prędkością  $v_m$  (rys. 3).

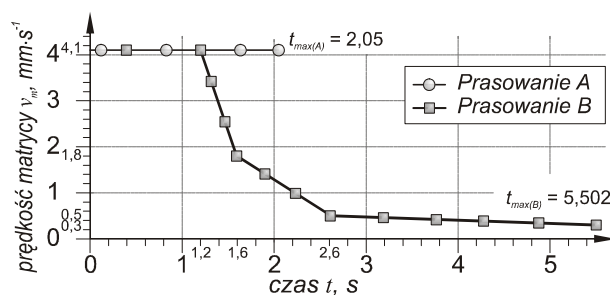
W artykule przedstawiono wyniki badań dwóch wybranych wariantów prasowania:

- Wariant 1 – prasowanie A, gdy prędkość matrycy jest stała i wynosi  $v_m = 4,1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,
- Wariant 2 – prasowanie B, gdy prędkość jest zmienna, a jej wartość zależy od czasu, zgodnie z wykresem przedstawionym na rys.5. Wartości prędkości określono na podstawie wcześniej wykonanych badań własnych [7] oraz zgodnie ze specyfikacją pras z serii PXW [4].

The lower die (the numerical analysis has been made with one tool comprising of a lower die, an ejector, and a clamping die) moves rectilinearly with velocity  $v_m$  (Fig. 3).

The article presents the results of calculations made for two selected variants of orbital forging:

- Variant 1: orbital forging A, where the lower die velocity,  $v_m$ , is constant and equals  $4.1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,
- Variant 2: orbital forging B, where the lower die velocity is variable and its value depends on time as shown in Fig. 5. The velocity values have been calculated on the basis of previously conducted tests [7] and PXW press specifications [4].



Rys. 5. Prędkość matrycy dolnej  $v_m$  w funkcji czasu prasowania  $t$  dla dwóch wariantów kształtowania, gdzie  $t_{\max}$  jest maksymalnym czasem trwania procesu

Fig. 5. Lower die velocity  $v_m$  as time function  $t$  for two orbital forging variants, where  $t_{\max}$  is the maximum duration of the process

Warunki kontaktu pomiędzy powierzchnią narzędzi z wypraską przyjęto zgodne z modelem tarcia stałego. Założono czynnik tarcia  $m = 0,45$ , natomiast współczynnik wymiany ciepła wynosi  $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  [4].

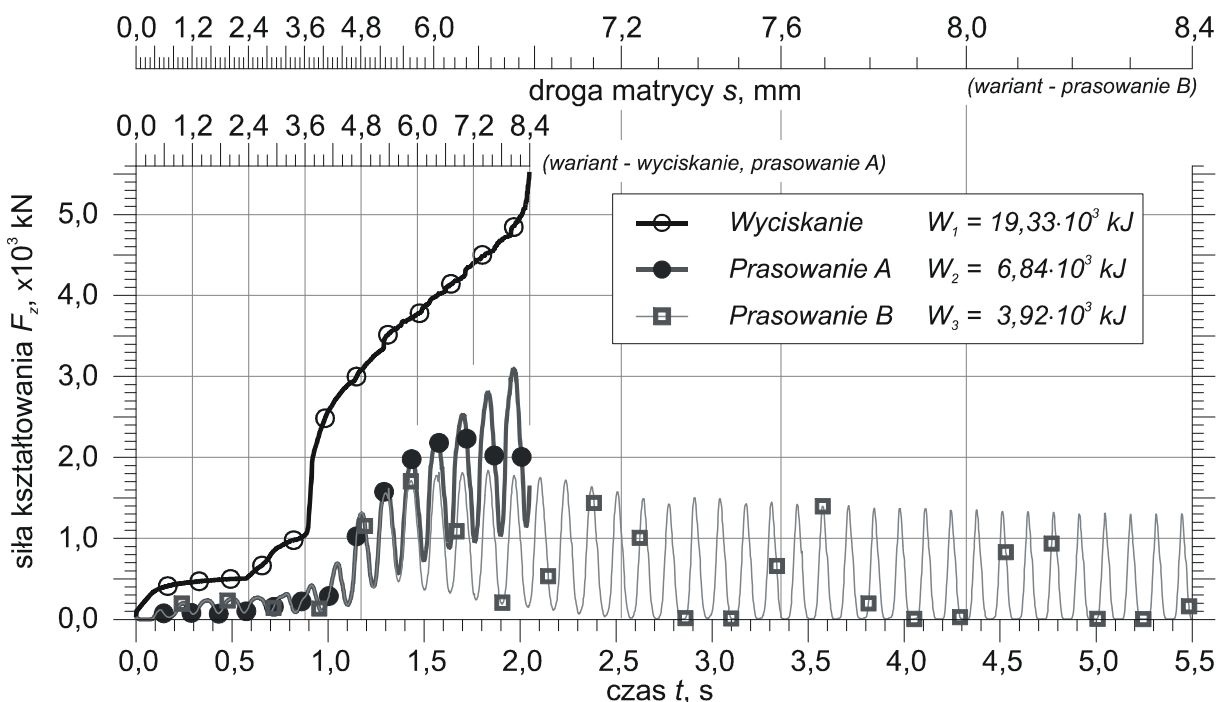
#### 4. WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Jak wiadomo, podstawowym celem zastosowania prasowania obwiedniowego jest zmniejszenie wymaganej siły kształtowania w porównaniu z metodami konwencjonalnymi prasowaniem i kuciem [3, 4, 7]. Na rys. 6 przedstawiono porównanie zmian siły obliczonej dla dwóch przypadków prasowania obwiedniowego oraz tradycyjnego wyciskania przeciwbieżnego (prędkość matrycy dolnej identyczna jak w przypadku prasowania A).

The tool-workpiece contact conditions correspond to the constant friction model. The assumed friction factor  $m$  equals 0.45, while the heat transfer coefficient is  $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  [4].

#### 4. NUMERICAL ANALYSIS RESULTS

Unlike conventional methods of forging, orbital forging requires less forming force [3, 4, 7]. Fig. 6 shows a comparison between the changes in forces calculated for two cases: orbital forging and conventional backward extrusion (the lower die velocity is the same as in variant 1 of orbital forging).



Rys. 6. Przebieg siły kształtowania  $F_z$  oraz praca  $W$  wykonana przez matrycę w zależności od wariantu kształtowania tarczy sprzęgła kłowego na zimno

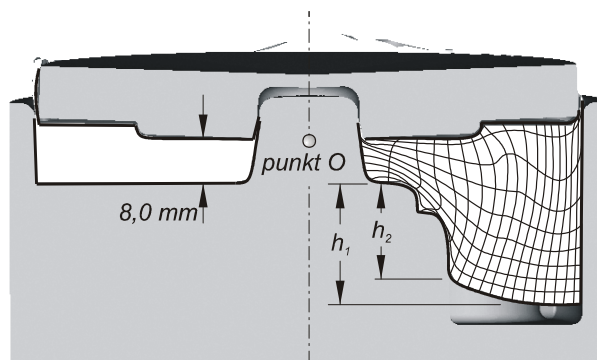
Fig. 6. Distribution of forming force  $F_z$  and work  $W$  done by the lower die depending on the claw ring orbital forging variant

Jak wynika z rysunku, prasowanie obwiedniowe powoduje wielokrotne obniżenie maksymalnej siły  $F_z$ . Ponadto okazuje się, że nie małe znaczenie ma również odpowiednie zmniejszanie wartości chwilowej prędkości matrycy dolnej  $v_m$  w czasie trwania kształtowania. Ponadto, prasowanie obwiedniowe zapewnia co najmniej trzykrotne zmniejszenie wartości pracy wykonanej przez matrycę dolną w porównaniu z wyciskaniem tradycyjnym, przy zachowaniu podobnych warunków przeróbki materiału (pomijając pracę wykonaną przez wahający stempel).

Istotnym zagadnieniem jest również charakter odkształcania materiału w czasie prasowania obwiedniowego. Kształt odkształconej siatki koordynacyjnej naniesionej na osiowy przekrój wypraski pokazano na rys. 7 (prasowanie B). Jak wynika z rys. 7, uzyskanie występów kłowych o kształcie zgodnym z rys. 2b jest niemożliwe. W przypadku wyciskania tradycyjnego jedynie wymiar  $h_2$  został osiągnięty (tablica 1). Niestety, w przypadku prasowania obwiedniowego całkowite wypełnienie wykroju jest trudne do uzyskania, a wymiar  $h_2$  jest mniejszy od oczekiwanej wartości. W przypadku prasowania B, różnica między wartością uzyskaną a oczekiwaną jest mniejsza niż w przypadku A.

As evident in the figure, orbital forging decreases the maximum force  $F_z$  by several times. Moreover, the analysis proves that decreasing the maximum spot velocity of the lower die  $v_m$  during the forming process is significant, too. Additionally, orbital forging ensures at least a threefold decrease in the value of lower die work when compared with conventional extrusion forging, with material working conditions being similar (except for the rocking upper die work).

The character of material deformation in orbital forging is another significant problem. The shape of the deformed flow net as placed on the axial section of the forging is shown in Fig. 7 (orbital forging B). As evident in Fig. 7, it is impossible to produce claws whose shape corresponds with what shown in Fig. 2b. In the case of conventional extrusion  $h_2$  is the only dimension to be obtained (Table 1). Unfortunately, in orbital forging it is difficult to obtain complete die cavity filling and  $h_2$  is smaller than expected. In the case of orbital forging B, the difference between the obtained value and the expected one is smaller than in the case of variant A of orbital forging.



Rys. 7. Przekrój poprzeczny wypraski (zgodnie z rys. 2b) wraz z odkształconą siatką koordynacyjną oraz wymiarami charakterystycznymi  $h_1$ ,  $h_2$

Fig. 7. Cross section of the forging (acc. to Fig. 2b) together with the deformed flow net and characteristic dimensions  $h_1$ ,  $h_2$

Tablica 1. Wartości wymiarów charakterystycznych zgodnych z rys. 7  
 Table 1. Values of characteristic dimensions corresponding to Fig.7

	Wyciskanie <i>Extrusion</i>	Prasowanie A <i>Orbital forging A</i>	Prasowanie B <i>Orbital forging B</i>
$h_1$ [mm]	22,8	18,5	20,6
$h_2$ [mm]	27,5	22,8	26,0
$(h-h_2)/h$ [%]	0	-17,1	-5,5
gdzie: $h = 27,5$ mm – wartość oczekiwana <i>where <math>h = 27,5</math> mm is the expected value</i>			

Stąd można wyciągnąć wniosek, że sterowanie wartością prędkości matrycy  $v_m$  nie tylko pozwala uzyskać korzystną wartość siły prasowania  $F_z$ , ale również pozwala zwiększyć stopień wypełnienia wykroju roboczego narzędzia. Należy również podkreślić, że w wykonanej analizie objętość materiału wsadowego była równa objętości odkuwki przedstawionej na rys. 2. Ponadto, nie uwzględniono nadatku na powstającą wypływkę osiową.

Na rysunkach 8 oraz 9 przedstawiono rozkłady, odpowiednio, funkcji zniszczenia Cockrofta-Lathama i temperatury obliczonej  $T$  wypraski. Rozkłady te dotyczą prasowania wg wariantu B, a przedstawiona wypraska jest produktem finalnym. Największe wartości funkcji zniszczenia występują w strefie wypływkę osiowej oraz (znacznie mniejsze wartości) na wewnętrznej powierzchni wyciskanych występów kłowych. Zatem na podstawie przedstawionego rozkładu omawianej funkcji oraz jej wartości można przypuszczać, że ewentualne pęknięcia mogą powstać jedynie w otoczeniu wypływkę. Jednak wymaga to dodatkowych badań doświadczalnych.

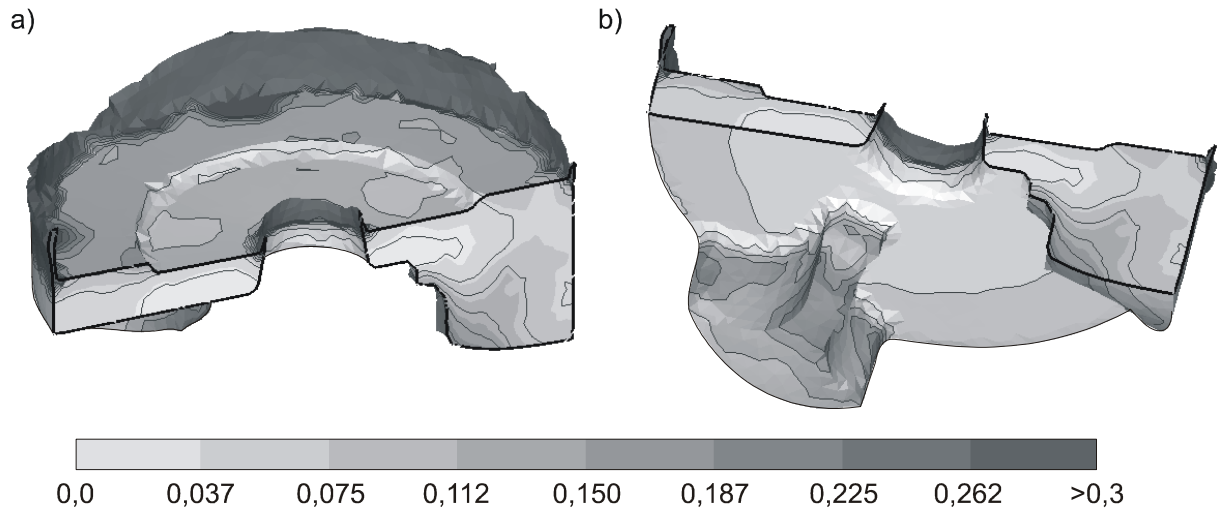
Warto również zwrócić uwagę na rozkład temperatury materiału. W wyniku zamiany pracy odkształcenia plastycznego na ciepło, temperatura wypraski wzrosła z 20 °C do ponad 37 °C, a miejscowo nawet przekroczyła 60 °C. Stanowi to prawie 300% wzrost wartości początkowej. Jest to zjawisko bardzo charakterystyczne dla technologii prasowania obwiedniowego na zimno.

*It is therefore possible to draw a conclusion that controlling the lower die velocity value  $v_m$  not only helps obtain a favourable value of orbital forging force  $F_z$ , but it also helps increase the degree of die cavity filling. It should also be emphasized that the workpiece volume used for the analysis is the same as the volume of the forging shown in Fig. 2. What is more, the analysis does not allow for axial flash allowance.*

*Figures 8 and 9, respectively, show the distribution of the Cockroft-Latham damage function and of the forging temperature ( $T$ ). The presented distributions pertain to variant B of orbital forging, where the forging shown is a final product. The damage function takes the highest values in the axial flash zone and somewhat decreases on the inner surface of the forged claws. Given the function distribution and its values, it is possible to assume that potential fractures may appear only around the flash. This assumption requires however further tests.*

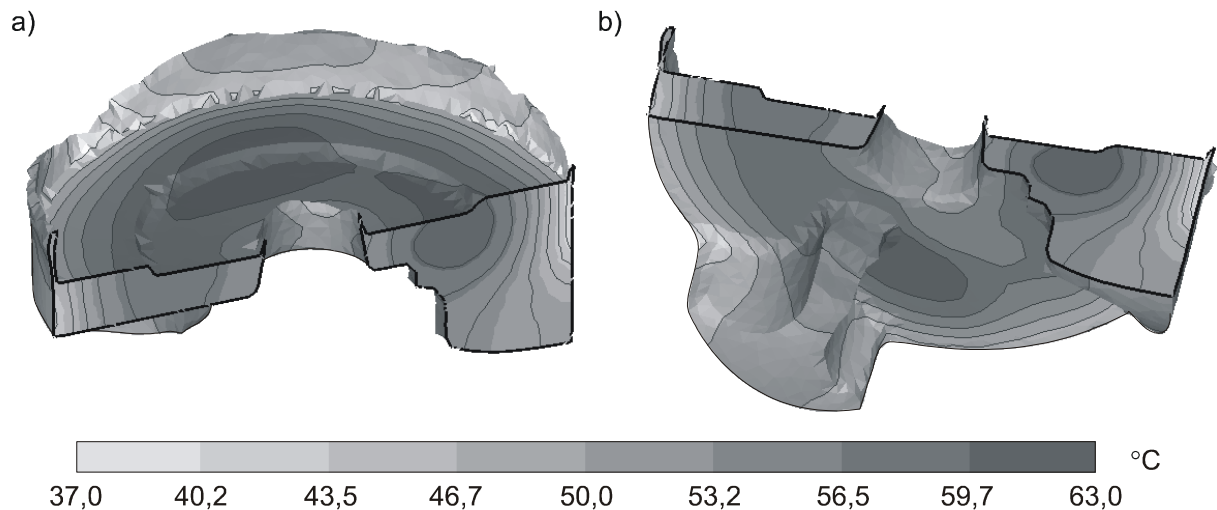
*Finally, the material temperature distribution should be taken into consideration as well. Owing to the heat generated by plastic deformation work, the material temperature increases from 20 °C to over 37 °C, locally exceeding 60 °C. The initial value is therefore increased by almost 300%. This phenomenon is characteristic of the orbital cold forging process.*





Rys. 8. Rozkład funkcji zniszczenia Cockrofta-Lathama w wyprasce (przekrój osiowy zgodny z rys. 2b) prasowanej obwiedniowo wg wariantu B; widok od strony stempla (a) oraz matrycy dolnej (b)

Fig. 8. Distribution of the Cockcroft-Latham damage function in the forging (axial section acc. to Fig. 2b) in variant B of orbital forging; the view from the upper die (a) and from the lower die (b)



Rys. 9. Rozkład temperatury w wyprasce (przekrój osiowy zgodny z rys. 1b) prasowanej obwiedniowo wg wariantu B; widok od strony stempla (a) oraz matrycy dolnej (b)

Fig. 9. Temperature distribution in the forging (axial section acc. to Fig. 1b) in variant B of orbital forging; the view from the upper die (a) and from the lower die (b)

## 5. PODSUMOWANIE

Na podstawie wyników analizy numerycznej procesu prasowania obwiedniowego tarczy sprzęgła kłowego ze stopu aluminium AlMgSi, można stwierdzić, że jest możliwe wytwarzanie na gotowo w warunkach przemysłowych tarczy sprzęgła kłowego wykonanej ze stopu aluminium. Podstawową korzyścią wynikającą z zastosowania tej technologii jest znaczne obniżenie wymaganej siły kształtowania.

## 5. CONCLUSION

The numerical analysis results of orbital forging show that it is possible to produce finished claw clutch rings made of the AlMgSi alloy in industrial conditions. The primary benefit of applying this technological process is reduction of required forming force.

Ponadto, zmiana wartości prędkości matrycy dolnej, w trakcie realizacji procesu prasowania obwiedniowego, powoduje odpowiednią zmianę wysokości wyciśniętych występów kłowych.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2012, jako projekt badawczy nr N N508 439036.*

*Furthermore, changing the lower die velocity value during the orbital forging process results in a respective change in the height of the forged claws.*

*The present work has been financed from scientific research funds for the years 2009-2012 as research project no. N N508 439036.*

## LITERATURA/REFERENCES

- [1] <http://www.tschan.de>. TSCHAN GmbH. Katalog sprzęgieł sprężystych kłowych typ S, maj 2010.
- [2] Guangchun W., Guoqun Z.A: Three-dimensional rigid-plastic FEM analysis of rotary forging deformation of a ring workpiece. *Journal of Materials Processing Technology* 95 (1999) s. 112-115.
- [3] Szyndler R. (i in.): Zalety i wady procesu prasowania obwiedniowego. *Obróbka Plastyczna Metali t. XV nr 3* (2004) s. 47-55.
- [4] Prasa z wahającą matrycą typ PXW 100AAb. Instrukcja technologiczna. Warszawa: Plasomat 1975.
- [5] Samołyk G., Pater Z., Bartnicki J.: Wpływ zmiany rodzaju ruchu narzędzi na wybrane parametry w prasowaniu obwiedniowym. *Fizyczne i Matematyczne Modelowanie Procesów Obróbki Plastycznej. Mechanika. Zeszyt naukowy nr 226*. Warszawa: OWPW 2009, s. 91-96.
- [6] Samołyk G.: Model płynięcia stopu Al z serii 6000 odkształcanego na zimno. *Rudy i Metale Nieżelazne nr 6* (2010) s. 326-329.
- [7] Samołyk G.: Prędkość posuwu w prasowaniu obwiedniowym wyprasek pierścieniowych. *Rudy i Metale Nieżelazne Nr 11* (2009) s. 806-808.