

Mgr inż. Paweł KROCZAK  
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań  
e-mail: pawel.kroczak@inop.poznan.pl

# Badanie procesu kucia trójników z bezołowiowego stopu miedzi

## *Research of forging process of tees with lead-free copper alloy*

### Streszczenie

Artykuł przedstawia symulacje numeryczne procesu kucia bezwypływkowego wybranych odkuwek złązek do instalacji wodnej, które wykonane były z bezołowiowego stopu miedzi. Do symulacji numerycznych wykorzystano komercyjny program do obliczeń metodą elementów skończonych QForm3D. Symulacje numeryczne wykonano dla odkuwek złązek typu trójnik. Wyznaczono najkorzystniejsze objętości wsadu ze względu na wypełnienie wykroju narzędzi oraz wielkości sił kształtujących występujących na stemplach.

### Abstract

*The article presents numerical simulations of the flashless forging process of selected forged water installation fittings that were made from lead-free copper alloy. The QForm3D commercial program for finite element method calculations was used for numerical simulations. Numerical simulations were realized for forged tee fittings. The most beneficial workpiece volumes, in terms of filling out of the die, and the values of forming forces on punches were determined.*

**Słowa kluczowe:** kucie bezwypływkowe, symulacje numeryczne, trójnik, bezołowiowy stop miedzi

**Keywords:** flashless forging, numerical simulations, tee, lead-free copper alloy

## 1. WSTĘP

Wytwórcom złązek do instalacji wodnej stawiane są coraz wyższe wymagania dotyczące wytwarzania produktu, które nie wpływają negatywnie na zdrowie użytkowników. Wysokie wymagania stawiane złączkom, wymuszają na producentach poszukiwanie nowych rozwiązań, dzięki którym można wykonać doskonalsze wyroby.

Kucie bezwypływkowe jest metodą, dzięki której możemy otrzymać wyroby o wymiarach gotowego produktu lub wyroby wymagające jedynie nieznacznej obróbki skrawaniem. Dla kucia bezwypływkowego wymagane jest stosowanie narzędzi kuźniczych o wyższych właściwościach wytrzymałościowych w porównaniu z narzędziami do kucia tradycyjnego [2, 5].

## 1. INTRODUCTION

*Greater and greater requirements are being set before manufacturers of waters installation fittings as regards manufacturing of products that do not negatively influence the health of users. The high requirements posed towards fittings force manufacturers to search for new solutions, thanks to which more perfect products can be made.*

*Flashless forging is a method thanks to which products with the dimensions of the final product or products requiring only slight machining can be obtained. It is required to use forging tools with greater strength properties in comparison with conventional forging tools for flashless forging [2, 5].*

W procesie kucia bezwypływkowego objętość wsadu musi być taka sama jak dla gotowej odkuwki, ponieważ nie ma wypływki, która stanowi magazyn nadmiaru materiału. Podczas kucia bezwypływkowego mogą wystąpić trudności z wypełnieniem wykroju odkuwki, np. wąskich żeber lub ostrych naroży, co może powodować nadmierne obciążenie i pękanie materiału [2, 3, 6].

Materiałem stosowanym na złączki do instalacji wody pitnej są stopy miedzi. W celu polepszenia własności technologicznych, takich jak skrawalność, odkształcalność i leżność dodaje się ołów do stopów miedzi [1]. Ze względu na toksyczność ołowiu, zaczęto eliminować ten pierwiastek ze stopów miedzi. Opracowane zostały zalecenia przez Światową Organizację Zdrowia (WHO) dotyczące dopuszczalnych zawartości ołowiu w wodzie. Z kolei, Unia Europejska zaleca eliminację ołowiu ze wszystkich wyrobów, które mają kontakt z wodą pitną [4]. Dlatego też, podjęto próby modyfikacji stopów miedzi innymi pierwiastkami, co przyczyniło się do powstania bezołowiowych stopów miedzi, które zaczęto stosować do produkcji ekologicznych instalacji wodnych, a w szczególności wody pitnej. Eliminacja ołowiu korzystnie wpłynęła na walory zdrowotne, ale pojawiły się trudności przy kuciu i skrawaniu stopu miedzi w stosunku do tradycyjnych mosiądzów i brązów. Dlatego też, podczas produkcji złączek z bezołowiowych stopów miedzi szczególną uwagę należy zwrócić na trwałość narzędzi kuźniczych, a także na zapotrzebowanie energii prasy kuźniczej.

W artykule przedstawiono symulacje numeryczne procesu kucia bezwypływkowego odkuwek złączek typu trójnik. Symulacje numeryczne pozwalają na porównywanie wyników symulacji z badaniami fizycznymi. Dzięki temu możliwy jest dobór parametrów rozpatrywanego procesu.

## **2. SYMULACJE NUMERYCZNE KUCIA BEZWYPŁYWKOWEGO ODKUWEK TRÓJNIKA**

Symulacje numeryczne procesów obróbki plastycznej metodą elementów skończonych

*During the flashless forging process, the volume of the workpiece must be the same as for the forging because there is no flash, which is an accumulation of material surplus. During flashless forging, there may be difficulties with filling out the die, e.g. narrow ribs or sharp corners, which may cause excessive load and cracking of the material [2, 3, 6].*

*Copper alloys are used as the material from which potable water installation fittings are made. Lead is added to copper alloys for the purpose of improving their technological properties, such as machinability, deformability, and castability [1]. Due to the toxicity of lead, this element has begun to be removed from copper alloys. Guidelines have been developed by the World Health Organization (WHO) in regard to admissible lead content in water. In turn, the European Union prescribes that lead is to be eliminated from all products that are in contact with potable water [4]. This is why attempts to modify copper alloys with other elements have been undertaken, which have contributed to the development of lead-free copper alloys, which are beginning to be used for the manufacture of ecological water installations, especially for potable water. The elimination of lead has beneficially affected health benefits, but difficulties with forging and machining the copper alloy in comparison with conventional brasses and bronzes arose. This is why special attention is to be paid to the durability of forging tools as well as to the demand for energy by the forging press during the production of lead-free copper alloy fittings.*

*This article presents numerical simulations of the process of flashless forging of tee fittings. Numerical simulations make it possible to compare the results of simulations with physical tests. Thanks to this, it is possible to choose parameters for the investigated process.*

## **2. NUMERICAL SIMULATIONS OF FLASHLESS FORGING OF TEES**

*Numerical simulations of plastic working processes using the finite element method are*

znajdują powszechne zastosowanie we wspomaganie projektowania technologii różnych procesów. W literaturze naukowej można znaleźć szereg przykładów programów symulujących różne procesy obróbki plastycznej przystosowane do analizy procesów prowadzonych na konkretnych urządzeniach.

Zdecydowana większość prowadzonych prac w tym zakresie wykorzystuje programy komputerowe do przewidywania schematu płynięcia materiału dla założonych parametrów technologicznych procesu. Stosując symulacje numeryczne możliwe jest określenie optymalnych warunków technologicznych, czyli najkorzystniejszych parametrów procesu, a także parametrów decydujących o trwałości narzędzi kuźniczych [7, 8].

Przy ocenie efektywności procesu kucia bezwypływkowego należy uwzględnić zarówno siłę kucia i plastyczność wsadu. Nadmierne naciski powodują przedwczesne zużycie narzędzi z powodu zwiększonego tarcia oraz przeciążenia. Dlatego też przeprowadzono symulację odkuwek złączek typu trójnik (rys. 1) wykonanego z bezołowiowego stopu miedzi CuZn21Si3P (w tabelicy 1 podano skład chemiczny tego stopu), gdzie za pomocą programu QForm wyznaczono najkorzystniejsze objętości wsadu, a także sprawdzono płynięcie materiału i siły kształtujące występujące na stemplach.

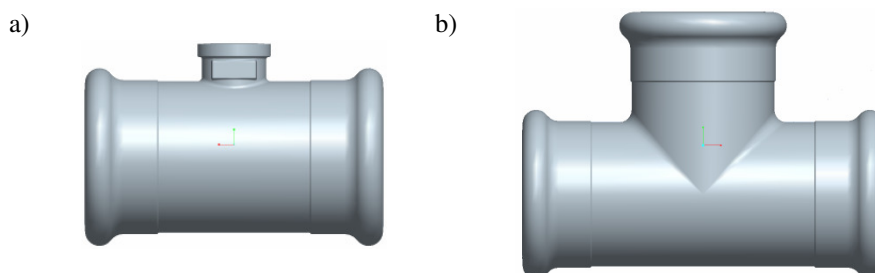
*universally applied to support the design of technologies for various processes. A series of exemplary programs for simulating various processes of plastic working adapted for analysis of processes conducted on specific devices can be found in scientific literature.*

*The decided majority of work conducted in this scope makes use of computer software for prediction of the material flow scheme for the assumed process parameters. By using numerical simulations, it is possible to determine the optimal process conditions, that is, the most beneficial process parameters as well as parameters determining the durability of forging tools [7, 8].*

*When evaluating the effectiveness of the flash forging process, the forging force and plasticity of the workpiece are to be taken into consideration. Excessive pressure causes premature tool wear as a result of increased friction and overloading. This is why a simulation of the forging of tee fittings (fig. 1) made from lead-free copper alloy CuZn21Si3P (table 1 shows the chemical composition of this alloy) was conducted. The QForm computer software was used to determine the most beneficial workpiece volumes, and material flow and forming forces originating from the punches were checked.*

Tablica 1. Skład chemiczny badanego bezołowiowego stopu miedzi  
Table 1. Chemical composition of researched lead-free copper alloy

	Cu	Si	P	Zn
[%]	~76	3	~0,1	reszta remainder



Rys. 1. Symulowane odkuwki złączki: a) trójnika z jednym mniejszym wylotem, b) trójnika z jednakowymi wylotami

Fig. 1. Simulated forging fittings: a) tee with one smaller outlet, b) tee with equal outlets

Dla przeprowadzanych symulacji założono, że narzędzia są ciałami sztywnymi; matryca górna i dolna są ze sobą w stałym kontakcie oraz kinematyka ruchu stempli odpowiada kinematyce prasy. Temperatura narzędzi kuźniczych wynosiła 200 °C, a temperatura materiału wsadowego 760 °C.

Ponieważ obciążenia narzędzi kuźniczych dla kucia bezwypływkowego są duże, postanowiono tak zaprojektować stemple, aby zmniejszyć wartości sił kształtujących.

Dla odkuwki trójkąta z jednym mniejszym wylotem (rys. 1a) rozpatrywano różne konstrukcje oraz wymiary materiału wsadowego.

Symulacje wykonano dla promieni R3, R6 i R10 na powierzchni czołowej stempli poziomych. Na rysunku 2 przedstawiono ustawienie stempli i materiału wyjściowego o wymiarach. Ustawienie te było takie same dla wszystkich rozpatrywanych przypadków. Wymiary materiału wyjściowego dla poszczególnych rozpatrywanych przypadków wynosiły: dla R3 -  $\phi 59,6 \times 57,8$ , dla R6 -  $\phi 59,6 \times 58,6$ , dla R10 -  $\phi 59,6 \times 59,5$ .

Końcowy etap symulacji przedstawiono na rysunku 3. Dla każdego przypadku pojawiała się wypływka na kołnierzu mniejszego wylotu odkuwki trójkąta.

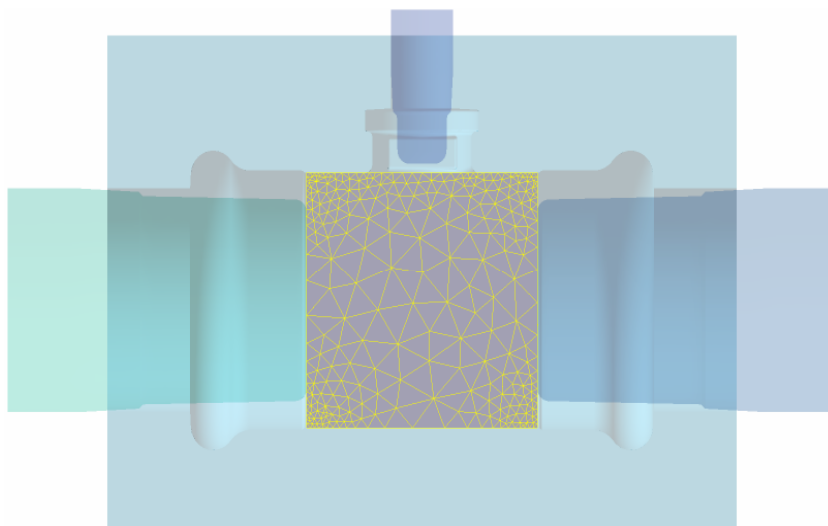
*It was accepted for the conducted simulations that the tools are rigid bodies; the upper and lower die are in constant contact with each other, and the kinematics of punch movement correspond to the kinematics of the press. The temperature of forging tools was equal to 200 °C, and the temperature of the workpiece material was 760 °C.*

*Due to the fact that loads on forging tools are high during flashless forging, it was decided that punches would be designed so as to reduce the values of forming forces.*

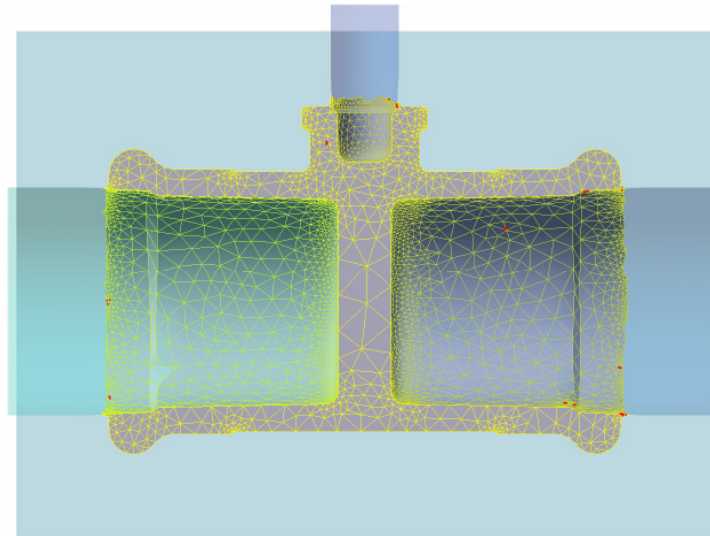
*For the tee forging with one smaller outlet (fig. 1a), various designs and dimensions of the workpiece were considered.*

*Simulations were carried out for radii of R3, R6, and R10 and on the face surface of horizontal punches. Figure 2 shows the setting of the punches and starting material with the dimensions of. This setting was the same as for all considered cases. The dimensions of the workpiece for individual considered cases were equal to: for R3 -  $\phi 59.6 \times 57.8$ , for R6 -  $\phi 59.6 \times 58.6$ , for R10 -  $\phi 59.6 \times 59.5$ .*

*The final step of the simulation is shown on figure 3. For each case, a flash appeared on the flange of the smaller outlet of the tee forging.*



Rys. 2. Ustawienie stempli oraz materiału wsadowego dla odkuwki trójkąta z jednym mniejszym wylotem  
*Fig. 2. Setting of punches and workpiece of tee forging with one smaller outlet*



Rys. 3. Końcowy etap symulacji

Fig. 3. The final step of the simulation

Tablica 2. Wartości sił kształtujących dla różnych promieni na powierzchni czołowej stempli poziomych dla odkuwki trójnika z jednym mniejszym wylotem

Table 2. Values of forming forces for different radii on on the face of the horizontal punches for tee forging with one small outlet

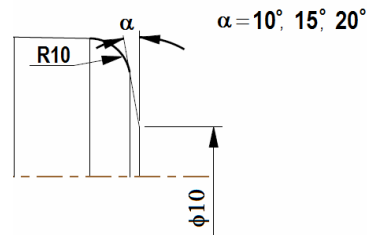
Wartość promienia na powierzchni czołowej stempli <i>Radius value on the punch face</i>	Wartości sił kształtujących <i>Values of forming forces</i>	
	Stemple poziome [kN] <i>Horizontal punches [kN]</i>	Stempel pionowy [kN] <i>Vertical punch [kN]</i>
R3	630	45
R6	612	44
R10	581	42

Po symulacji zarejestrowano wartości sił kształtujących (tablica 2). Można zauważyć, że zwiększenie promienia na powierzchni czołowej stempli spowodowało zmniejszenie wartości sił kształtujących na stemplach poziomych oraz stemplu pionowym. Przy czym, większe różnice w wartościach sił kształtujących zaobserwowano dla stempli poziomych.

W kolejnych symulacjach postanowiono zastosować inną konstrukcję stempli poziomych (rys. 4), aby otrzymać jeszcze mniejsze wartości sił kształtujących. Aby skrócić czas obliczeń do symulacji wzięto połowę matrycy, ćwiartkę stempla górnego i materiału wsadowego oraz połowę jednego stempla poziomego.

After the simulation, the values of forming forces were registered (table 2). It can be observed, that increasing the radius on the punch face caused a reduction of the values of forming forces on horizontal punches and on the vertical punch. Greater differences in the values of forming forces were observed for horizontal punches.

In further simulations, it was decided to use a different horizontal punch design (fig. 4) in order to obtain even smaller values of forming forces. To reduce the calculation time, one half of the die, a quarter of the upper punch and workpiece, and half of one horizontal punch were used in the simulation.



Rys. 4. Wersje konstrukcji stempli poziomych

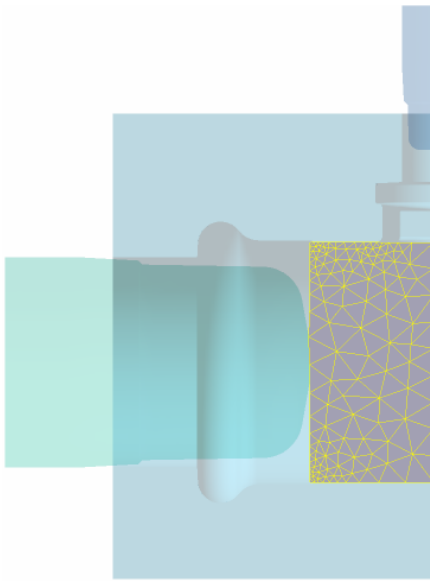
Fig. 4. Versions of horizontal punches design

Ustawienie materiału wsadowego oraz stempli pokazano na rysunku 5. Materiał wsadowy miał wymiar  $\phi 59,6 \times 61,3$  dla kąta  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\phi 59,6 \times 62,5$  dla kąta  $\alpha = 15^\circ$  oraz  $\phi 59,6 \times 63,5$  dla kąta  $\alpha = 20^\circ$ . Promień na powierzchni czołowej stempli poziomych był stały i wynosił R10.

Końcowy etap symulacji przedstawiono na rysunku 6.

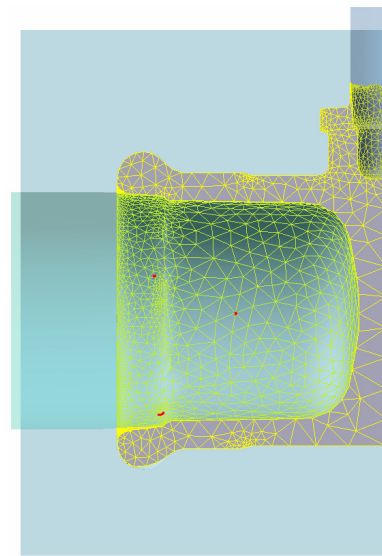
The arrangement of the workpiece and punches is shown in figure 5. The workpiece had the dimensions of,  $\phi 59.6 \times 61.3$  for an angle of  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\phi 59.6 \times 62.5$  for an angle of  $\alpha = 15^\circ$ , and  $\phi 59.6 \times 63.5$  for  $\alpha = 20^\circ$ . The radius on the faces of horizontal punches was constant and equal to R10.

The final step of the simulation is shown on figure 6.



Rys. 5. Ustawienie stempli oraz materiału wsadowego przed symulacją

Fig. 5. Setting of punches and workpiece before simulation



Rys. 6. Końcowy etap symulacji odkuwki trójnika

Fig. 6. The final step of the simulation for forging tee

Wartości sił kształtujących przedstawiono w tabelicy 3. Zastosowany kąt pochylenia na powierzchni czołowej stempli poziomych spowodował zmniejszenie wartości sił kształtujących. We wszystkich rozpatrywanych przypadkach występowało pełne wypełnienie wykoju matrycy oraz pojawiała się wypływka na kołnierzu mniejszego wylotu odkuwki trójnika.

The values of forming forces are shown on table 3. The applied angle of inclination on the face of horizontal punches caused a reduction of the values of forming forces. In all considered cases, the die was completely filled and a flash formed on the flange of the smaller outlet of the tee forging.

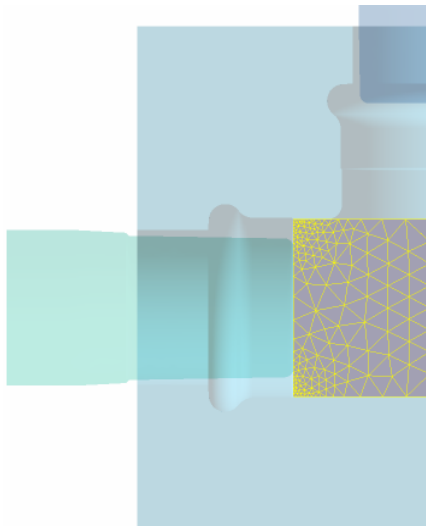
Tablica 3. Wartości sił kształtujących dla różnych kątów na powierzchni czołowej stempli poziomych dla odkuwki trójkąta z jednym mniejszym wylotem

Table 3. Values of forming forces for different angles on the face of the horizontal punches for tee forging with one small outlet

Wartość kąta na powierzchni czołowej stempli <i>Value of the angle on the punch face</i>	Wartości sił kształtujących <i>Values of forming forces</i>	
	Stemple poziome [kN] <i>Horizontal punches [kN]</i>	Stempel pionowy [kN] <i>Vertical punch [kN]</i>
$\alpha = 10^\circ$	565	31
$\alpha = 15^\circ$	555	30
$\alpha = 20^\circ$	546	30

Symulacje tego typu trójkąta wykazały, że zwiększając promień oraz kąt pochylenia powierzchni czołowej stempli zmniejszają się wartości sił kształtujących, powodując tym samym zwiększenie trwałości matryc i stempli kuźniczych.

Wykonano także symulacje numeryczne dla odkuwki złączki trójkąta z jednakowymi wylotami (rys. 1b). Wszystkie wykonane symulacje odkuwki trójkąta z jednakowymi wylotami miały takie same ustawienie stempli. Zmieniały się wymiary materiału wsadowego i wartości promienia dla stempli poziomych. Symulację dla odkuwki trójkąta z jednakowymi wylotami wykonano dla promieni R3, R6 i R10 na powierzchni czołowej stempli poziomych. Rysunek 7 przedstawia ustawienie stempli i materiału wsadowego dla odkuwki trójkąta z jednakowymi wylotami. Wymiary materiału wsadowego wynosiły:  $\phi 59,6 \times 93$  (dla R3),  $\phi 59,6 \times 93,5$  (dla R6),  $\phi 59,6 \times 94,8$  (dla R10).

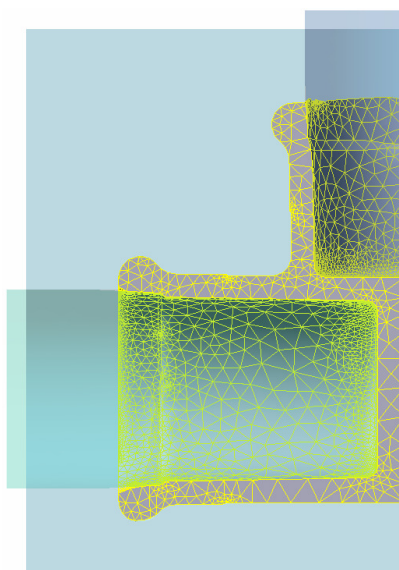


*Simulations of a tee of this type showed that, by increasing the radius and angle of inclination of the punch face, the values of forming forces are reduced, which translates to an increase in the durability of dies and forging punches.*

*Numerical simulations were also performed for the tee fitting forging with identical outlets (figure 1b). All conducted simulations of the tee forging with identical outlets had the same punch settings. The dimensions of the workpiece and the value of the radius of horizontal stamps were changed. Simulations of the tee forging with identical outlets were carried out for radii of R3, R6, and R10 and on the face surface of horizontal punches. Figure 7 shows the setting of the punches and workpiece for a tee forging with identical outlets. The dimensions of the workpiece were equal to:  $\phi 59.6 \times 93$  (for R3),  $\phi 59.6 \times 93.5$  (for R6),  $\phi 59.6 \times 94.8$  (for R10).*

Rys. 7. Ustawienie stempli oraz materiału wsadowego przed symulacją dla odkuwki trójkąta z jednakowymi wylotami

Fig. 7. Setting of punches and workpiece before simulation for forging tee with equal outlets



Rys. 8. Końcowy etap symulacji odkuwki trójnika

*Fig. 8. The final step of the forging tee simulation*

Tablica 4. Wartości sił kształtujących dla różnych promieni na powierzchni czołowej stempli poziomych dla odkuwki trójnika z jednakowymi wylotami

*Table 4. Values of forming forces for different radii on on the face of the horizontal punches for tee forging with the same outlets*

Wartość promienia na powierzchni czołowej stempli <i>Radius value on the punch face</i>	Wartości sił kształtujących <i>Values of forming forces</i>	
	Stemple poziome [kN] <i>Horizontal punches [kN]</i>	Stempel pionowy [kN] <i>Vertical punch [kN]</i>
R3	682	322
R6	680	320
R10	662	318

Etap końcowy symulacji przedstawia rysunek 8. Dla każdej wykonanej symulacji występowało pełne wypełnienie wykroju matrycy. Ze wzrostem wartości promienia na powierzchni czołowej stempli następował spadek wartości sił kształtowania (tablica 4).

*The final step of the simulation is shown on figure 8. For each conducted simulation, the die was completely filled. As the value of the radius on the face of the punch increased, a reduction in the values of forming forces occurred (table 4).*

### 3. PODSUMOWANIE

Wyniki symulacji numerycznej posłużyły do opracowania narzędzi dla procesu bezwypływkowego kucia odkuwek trójnika z bezolowianowego stopu miedzi. Dzięki symulacjom numerycznym możliwy był dobór kształtu powierzchni czołowej stempli dla danego typu odkuwki trójnika. Poprzez odpowiedni dobór kształtu powierzchni czołowej stempli możliwe było obniżenie siły kształtowania.

### 3. SUMMARY

*The results of numerical simulation served for the development of tools for the process of flashless forging of tees from lead-free copper alloy. Thanks to numerical simulations, it was possible to select the shape of the punch face for a given type of tee forging. Through the appropriate selection of the shape of the punch face, it was possible to reduce forming forces.*



Dla odkuwki złączki typu trójnik z jednym mniejszym wylotem, po wypełnieniu mniejszego wylotu pojawia się wypływka, która przeciska się przez powierzchnie stempla górnego co w praktyce ma wpływ na zużycie stempla. W niektórych przypadkach dochodziło do niepełnego wypełnienia wykroju matrycy na kołnierzu. Natomiast dla trójnika z jednakowymi wylotami wystąpiło pełne wypełnienie wykroju dla wszystkich rozpatrywanych przypadków.

Zwiększenie promieni stempli na powierzchni czołowej spowodowało obniżenie wartości sił kształtujących, przy czym większy spadek wartości sił zaobserwowano dla stempli poziomych dla odkuwki trójnika z jednym mniejszym wylotem. Wprowadzone dodatkowe pochylenie na powierzchni czołowej stempli poziomych spowodowało dalsze obniżenie wartości sił kształtujących. Natomiast, dla odkuwki trójnika z jednakowymi wylotami zaobserwowano nieznaczne różnice w wartościach sił kształtujących.

Reasumując, stosowanie symulacji numerycznej wspomaga opracowanie innowacyjnego procesu wytwarzania odkuwek złączek do instalacji wodnej z bezołowiowego stopu miedzi. Po analizie numerycznej można wykonać modelowanie fizyczne, co pozwoli na skorelowanie wyników badań fizycznych i symulacji numerycznej. Dzięki temu jest możliwe dopracowanie parametrów technologii kucia bezwypływkowego, co pozwoli na wykorzystanie zalet tej technologii w praktyce przemysłowej.

*For the tee fitting forging with one smaller outlet, flash appears after the smaller outlet has been filled, and it squeezes through the surface of the upper punch, which has an influence on punch wear in practice. In certain cases, the die was not completely filled in the flange. However, for the tee with identical outlets, the die was completely filled for all considered cases.*

*An increase of the radii on punch faces caused a reduction of the values of forming forces, with that a greater decrease of force values was observed for horizontal punches for the tee forging with one smaller outlet. The introduced additional inclination on the face of horizontal punches caused further reduction of the values of forming forces. However, for the tee forging with identical outlets, slight differences in the values of forming forces were observed.*

*In conclusion, the application of numerical simulations supports the development of an innovative process of producing water installation fitting forging from lead-free copper alloy. After numerical analysis, physical modeling can be performed, which will make it possible to correlate the results of physical studies and numerical simulation. Thanks to this, it is possible to specify flashless forging parameters, which will enable the application of the advantages of this technology in industrial practice.*

## LITERATURA/REFERENCES

- [1] Davis J.R.: Copper and copper alloys. ASM International. Handbook Committee, Stany Zjednoczone 2001.
- [2] Gronostajski Z., Hawryluk M.: The main aspects of precision forging. Archives of Civil and Mechanical Engineering, vol. VIII, Nr 2 (2008), s. 39-55.
- [3] Kchaou M., Elleuch R., Desplanques Y., Boidin X., Degallaix G.: Failure mechanisms of H13 die on relation to the forging process – A case study of brass fass valves. Engineering Failure Analysis 17 (2010) s. 403-415.
- [4] Kondracki M.: Problemy eliminacji ołowiu z mosiądzów armaturowych. Eksploatacja i Niezawodność 2 (2004) s. 28-31.
- [5] Sińczak J.: Kucie dokładne. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2007.
- [6] Skubisz P., Sińczak J.: Konstrukcja matryc składanych do kucia bezwypływkowego na prasach śrubowych. Mechanik 10 (2008) s. 792-798.
- [7] Valberg H. S.: Applied metal forming including FEM analysis. Cambridge University Press, Cambridge 2010.
- [8] Żmudzki A., Skubisz P., Sińczak J., Pietrzyk M.: Wykorzystanie metod numerycznych w procesach kuźniczych. Obróbka Plastyczna Metali 2006 t. XVII nr 3 s. 9-19.