

dr inż. Stanisław ZIÓŁKIEWICZ, mgr inż. Zbigniew STACHOWIAK,
mgr inż. Daniel KACZMARCZYK, mgr inż. Andrzej KARPIUK
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań

Kucie wyrobów złożonych o małych wymiarach

Forging complex products of small sizes

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań kształtowania złożonych wyrobów o niewielkich wymiarach na przykładzie opracowanej technologii kucia na zimno odkuwki łącznika. Przedstawiono wpływ rodzaju materiału oraz kształtu materiału wyjściowego na stopień wypełnienia matrycy. Stwierdzono, że w przypadku kształtowanego łącznika materiał mniej plastyczny (stal 16HG) lepiej wypełnia wykrój matrycy niż materiał o większej plastyczności (stopy aluminium PA2, PA4). Podano wyniki pomiarów twardości oraz mikrostruktury. Stwierdzono, że w przypadku stopów aluminium występuje bardziej równomierny rozkład twardości oraz odkształcenia struktury niż w przypadku odkuwek stalowych.

Abstract

The paper presents the results of investigation of forming small size products with complex shapes. As an example, the developed technology of cold forming of a connector forging has been studied. The influence of the kind of material and the blank shape on the die filling has been shown. It has been found that, in the case if the connector being formed, the less plastic material (16HG steel) fills the die impression better than material of higher plasticity (PA2, PA4 aluminium alloys). Hardness measurement results and microstructure examination results have been stated. It has been found that the distribution of hardness and structure deformation in aluminium alloys is more uniform than that in steel forgings.

Słowa kluczowe: obróbka plastyczna, kucie na zimno, odkuwka, mikrostruktura, twardość

Key words: metal forming, cold forging, forging, microstructure, hardness

1. WSTĘP

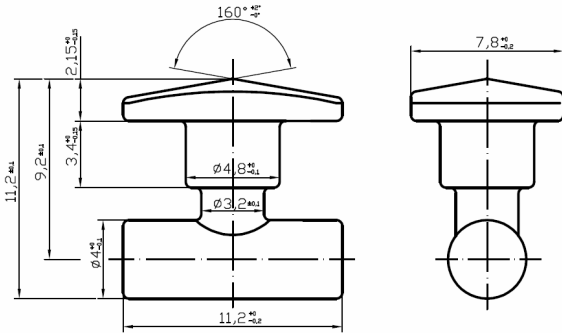
Technologia obróbki plastycznej wykorzystywana jest nie tylko do wytwarzania wyrobów o dużych wymiarach, ale również coraz częściej do wytwarzania odkuwek dokładnych o małych gabarytach. Problemy występujące przy formowaniu małych wymiarowo wyrobów, w sposób istotny różnią się od problemów napotykanych w procesach kucia odkuwek dużych. Przy kuciu małych wyrobów istotny wpływ na przebieg procesu oraz jakość odkuwki mają: wielkość ziarna, zwiększony wpływ oporu plastycznego i zjawisk tarcia, zachowanie czystości narzędzi i problemy ze smarowaniem, szybkim stygnięciem materiału

wsadowego oraz problemy techniczne z wykonaniem narzędzi i inne.

Przeprowadzone w Instytucie prace koncentrowały się na opracowaniu procesu technologicznego kucia odkuwek z różnych materiałów, których minimalny wymiar nie przekracza 3 mm.

2. ZAKRES I PRZEBIEG PRAC

Do badań dokładnego kucia złożonych wyrobów o niewielkich wymiarach, wybrano odkuwkę łącznika (rys. 1).



Rys. 1. Kształt i podstawowe wymiary odkuwki łącznika

Fig. 1. Shape and major dimensions of the connector forging

Niewielkie wymiary wyrobu stanowią zasadniczy problem technologiczny związany z poprawnym wypełnieniem wykroju roboczego matrycy i znacznego obciążenia wykroju narzędzi przy kuciu na zimno. Na stopień wypełnienia wykroju wpływa:

1. wąski i głęboki wykrój - odwzorowujący prostokątny kształt odkuwki, w którym minimalna szerokość wykroju wynosi 2,15 mm a głębokość 3,9 mm,
2. wysoki stopień przeformowania i umocnienia materiału, szczególnie przy mostku, powodujący znaczne obciążenie narzędzi,
3. problem technologiczny związany z kształtem odkuwki i wykonaniem narzędzi.

Przeprowadzono analizę numeryczną upraszczając model do przekroju poprzecznego w osi odkuwki. Analizę numeryczną prowadzono przy pomocy programu QForm. Opis materiału odpowiadał umocnieniu stali 16HG wg. [1,2]. Wyniki obliczeń pokazano na rysunku 2.

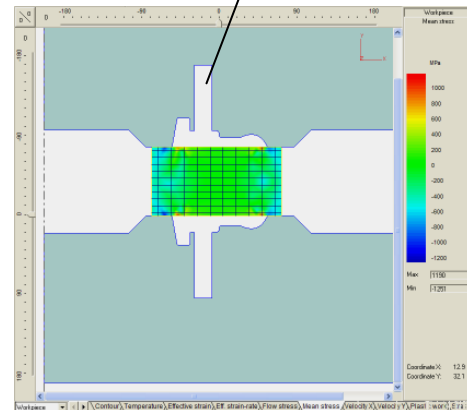
Z analizy przebiegu procesu wynika, że w osi odkuwki już w stosunkowo wczesnej fazie następuje wypełnienie wykroju matrycy, a nadmiar materiału przemieszczany jest w stronę mostka. W obszarze odkuwki występuje naprężenie ściskające. W pobliżu mostka i w wypływie naprężenia średnie zmieniają znak na dodatni.

Do badań wykonano narzędzia badawcze monolityczne pokazane na rys. 3.

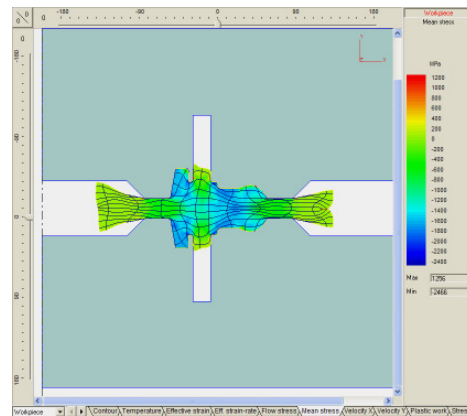
Badania warsztatowe przeprowadzono na stanowisku badawczym wyposażonym w hydrauliczną prasę wieloruchową PHdW-250 z wykorzystaniem górnego siłownika roboczego o nacisku nominalnym 100T. Do badań przyjęto cztery gatunki materiału o różnych

własnościach mechanicznych: ołów, stopy aluminium PA2 i PA6 oraz stal stopową niskowęglową 16HG.

a) Otwór kompensacji nadmiaru materiału



b)



Rys. 2. Początkowa i końcowa faza procesu kucia odkuwki łącznika – rozkład naprężeń średnich i deformacja siatki prostokątnej

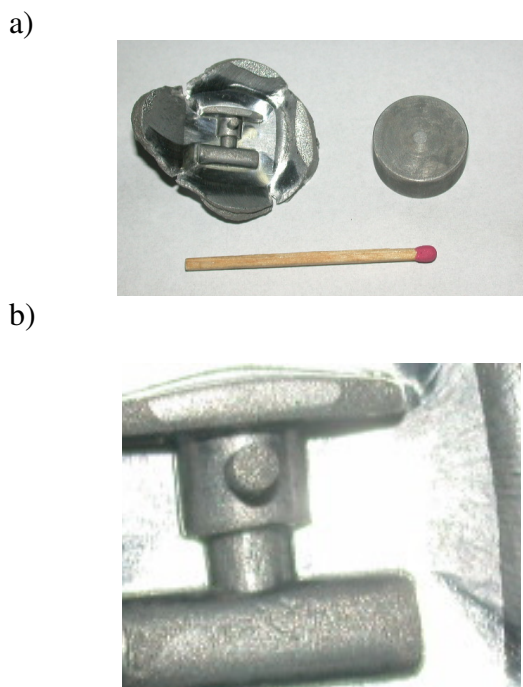
a) początek procesu, b) koniec procesu kształtowania

Fig. 2. The initial and final phase of the connector forging process - average stress distribution and deformation of the rectangular network
a) process beginning, b) process end



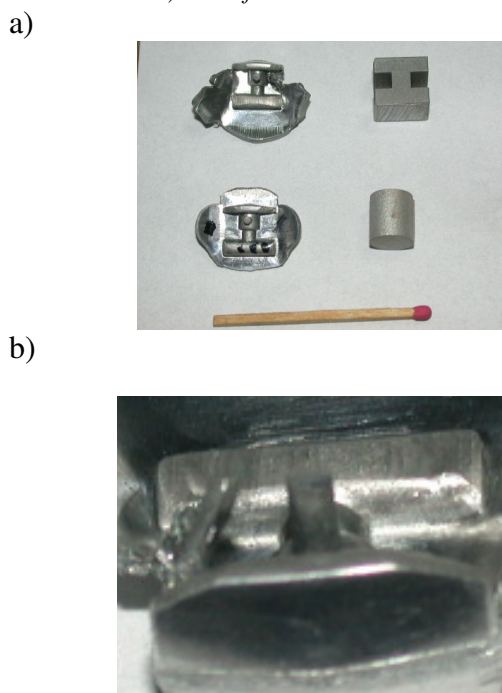
Rys. 3. Narzędzia badawcze do kształtowania odkuwki łącznika

Fig. 3. Test tools for firming the connector forging



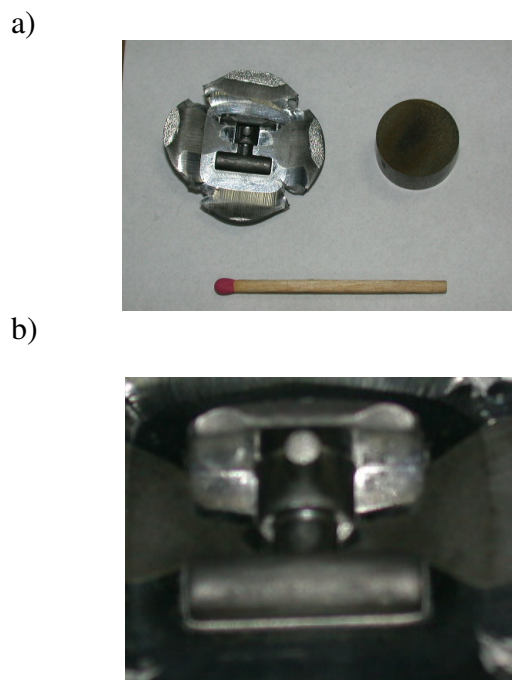
Rys. 4. Odkuwki wykonane ze stopu aluminium PA2
a) materiał wyjściowy $\phi 16 \times 8$ i odkuwka,
b) niewypełnienie w obszarze naroża

Fig. 4. Forgings made of PA2 aluminium alloy
a) blank $\phi 16 \times 8$ and a forging,
b) underfill in the corner area



Rys. 5. Odkuwki wykonane ze stopu aluminium PA2
a) materiały wyjściowe $\phi 8 \times 10$ i odkuwki, b) niewypełnienie w obszarze naroża z kształtowej przygotówki

Fig. 5. Forgings made of PA2 aluminium alloy
a) blanks $\phi 8 \times 10$ and forgings, b) underfill in the corner area from the formed blank



Rys. 6. Odkuwki wykonane ze stali gatunku 16HG
a) materiał wyjściowy $\phi 16 \times 8$ i odkuwka,
b) niewypełnienie w obszarze naroża

Fig. 6. Forgings made of steel grade 16HG
a) blank $\phi 16 \times 8$ and a forging,
b) underfill in the corner area

Próbki ze stopów aluminium smarowano olejem, a nadmiar smaru usuwano. Próbki stalowe poddano procesowi bonderyzowania i nałożono warstwę smarną dwusiarczku molibdenu. Badania prowadzono dla różnych kształtów materiałów wyjściowych. Rysunki 4-6 przedstawiają wyniki badań warsztatowych odkuwek łącznika z różnych materiałów.

Odkuwki kształtowane ze stopu aluminium PA2, niezależnie od kształtu materiału wyjściowego charakteryzują się znacznym niewypełnieniem w obszarze naroża podstawy prostokątnej oraz niecałkowitego wypełnienia w obszarze części walcowej prostopadłej do osi odkuwki. Przyczyną niewypełnienia w części prostokątnej podstawy jest prawdopodobnie za mała intensywność hamowania materiału na mostku. Powoduje to przemieszczenie materiału do wypłytki w końcowej fazie procesu, gdyż naciski niezbędne do wypełnienia naroża są większe niż naciski naprężenia występujące na mostku.

Grubość wypłytki wynosiła od 1,0-1,2 mm przy założonej grubości 0,8 mm.

Wyraźna poprawa stopnia wypełnienia wykroju (przy identycznych parametrach prasowania) wystąpiła w przypadku odkuwek wy-

konanych ze stali 16HG (rys. 6). Mimo nadal występującego niewypełnienia w narożu podstawy prostokątnej w porównaniu do odkuwek ze stopu aluminium PA2 wykonanych z identycznych przygotówek (rys. 7), wielkość niewypełnienia nieznacznie przekracza wartość tolerancji.

a)



b)



Rys. 7. Porównanie stopnia wypełnienia krawędzi odkuwek wykonanych ze stopu aluminium PA2 i stali gatunku 16HG wykonanych z przygotówki w postaci walca o średnicy 10 mm i wysokości 10 mm

a) odkuwka ze stopu aluminium PA2,
b) odkuwka ze stali 16HG

Fig. 7. Comparison of edge filling degree of forgings made of PA2 aluminium alloy to those of forgings made of 16HG steel manufactured of a blank on the form of a cylinder with a diameter of 10 mm and a height of 10 mm.

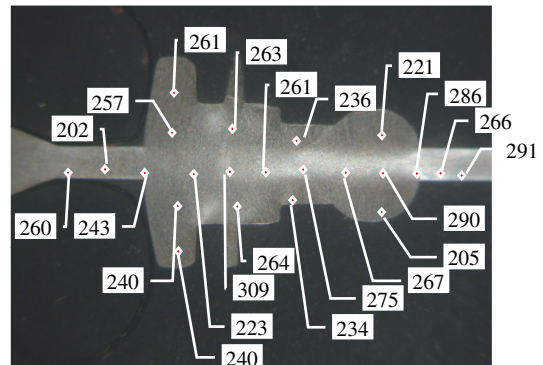
a) a forging of PA2 aluminium alloy, b) a forging of 16HG steel

W przypadku odkuwek stalowych zwiększono grubość mostka z 0,8 do 1 mm. W próbach warsztatowych grubość mostka wyniosła od 1,2 mm dla materiału wyjściowego w postaci walca o średnicy 10 mm i wysokości 10 mm do 1,4 mm dla walca o średnicy 16 mm i wysokości 8 mm.

Dla poprawy wymiarów geometrycznych odkuwek stalowych, po okrojeniu wypłytki odkuwki kalibrowano na zimno. Wyniki po-

miarów geometrycznych przedstawiono w tabelicy 1.

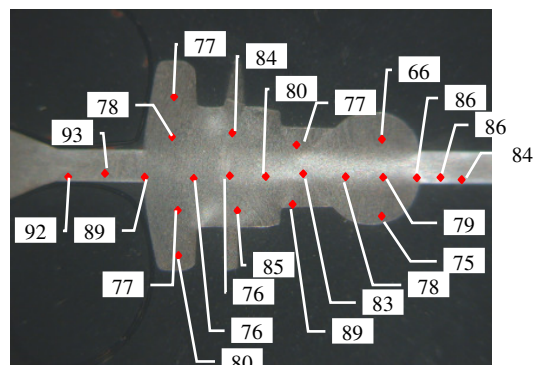
Do badań metalograficznych wytypowano odkuwki wykonane ze stali 16HG oraz ze stopu aluminium PA2. W ramach badań wykonano również pomiary mikrotwardości HV 0,1. Mapę rozkładu twardości dla odkuwki stalowej przedstawia rysunek 8, a dla odkuwki ze stopu PA2 rysunek 9.



Rys. 8. Mapa rozkładu twardości HV 0,1.

Odkuwka z wypływką ze stali 16HG; przekrój wzdłuż osi

Fig. 8. Map of the HV 0.1 hardness distribution. 16HG steel forging with a flash; axial section



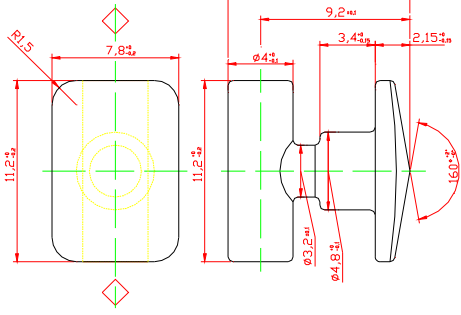
Rys. 9. Mapa rozkładu twardości HV 0,1.

Odkuwka z wypływką ze stopu aluminium PA2; przekrój wzdłuż osi

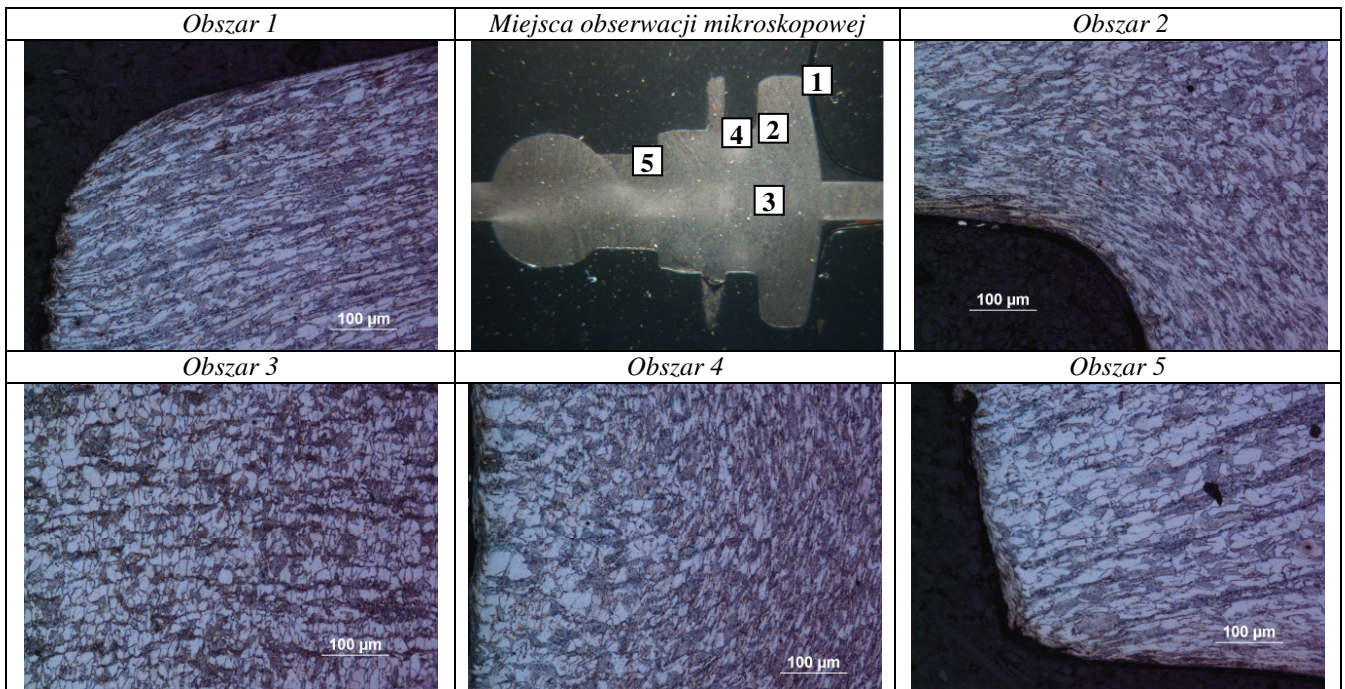
Fig. 9. Map of the HV 0.1 hardness distribution. PA2 aluminium alloy forging with a flash; axial section

W przypadku odkuwki stalowej, największe twardości (260-290 HV 0,1) obserwuje się w obszarze mostka, co wynika z dużej intensywności odkształcenia materiału w tym obszarze. Rozkład twardości na przekrojach odkuwki, pomijając obszar mostka i wypłytki, jest rozkładem równomiernym. Twardość mieści się w przedziale od 200 HV 0,1 w obszarze najmniej odkształconym do 260 HV 0,1 w obszarze największego odkształcenia w przekroju podstawy prostokątnej odkuwki.

Tablica 1. Wyniki pomiarów geometrycznych odkuwek
 Table 1. Results of geometrical measurements of the forgings



Wymiar	Pomiar odkuwki						Odchyłka	UWAGI
	1	2	3	4	5	6		
2,15 _{-0,15}	2,22	2,31	2,26	2,31	2,19	2,18	+0,08 +0,16	
3,4 _{-0,15}	3,39	3,43	3,47	3,47	3,49	3,49	-0,01 +0,09	
11,2±0,1	11,36	11,30	11,25	11,27	11,36	11,34	+0,05 +0,16	
φ4,8 _{-0,1} na wypływce	4,69	4,79	4,66	4,71	4,69	4,65	-0,14	
	4,95	4,95	4,95	4,94	4,96	4,95	+0,16	
φ3,2±0,1	3,15	3,12	3,09	3,16	3,07	3,11	-0,13	z wypływką
	3,42	3,39	3,38	3,43	3,43	3,39	+0,23	
11,2 _{-0,2} podstawa	11,26	11,27	11,30	11,31	11,27	11,33	+0,04 +0,13	pomiar z wypływką
7,8 _{-0,2}	8,05	8,07	8,03	8,10	7,97	8,04	+0,17 +0,25	
11,2 _{-0,2} dł. wałka	11,25	11,34	11,32	11,34	11,35	11,36	+0,05 +0,16	pomiar z wypływką



Rys. 10. Mikrostruktura odkuwki ze stali 16HG (przekrój wzdłuż osi)
 Fig. 10. Microstructure of a 16HG steel forging (axial section)

W przypadku odkuwki ze stopu aluminium największe twardości obserwuje się na mostku o wartości od 86 do 93 HV 0,1. Twardość na przekroju jest mniej zróżnicowana niż w przypadku odkuwki stalowej i mieści się w przedziale od 66 do 84 HV 0,1.

Na rysunku 10 przedstawiono mikrostrukturę odkuwki ze stali 16HG z widocznymi występami ϕ 1,5 mm z otworu wypychacza oraz z wypływką. W strefie prostokątnej podstawy zauważyć można wydłużone ziarna zgodne z kierunkiem płynięcia materiału (obszar 1). Deformacja ziaren zmniejsza się wraz ze zbliżaniem do osi odkuwki (obszar 3). Jednocześnie dostrzec można niewielką zmianę kierunku wydłużenia ziaren, równoległą do osi próbki w płaszczyźnie podziału matryc. Jednocześnie w obszarze 2 znaczne odkształcenie widoczne jest na promieniu przejścia z części walcowej odkuwki do podstawy. Świadczy to o intensywnym płynięciu materiału na promieniu. W obszarze 4, przy powierzchni pobocznic walcowej odkuwki widać obszar nieodkształconej struktury ziaren kończący się na promieniu przejścia z średnicy 4,8 mm na średnicę 3,2 mm (obszar 5) leżący przy obszarze odkształconym. Świadczy to, iż podczas procesu, na styku materiału obrabianego z walcowym wykrojem matrycy o średnicy 4,8 mm występuje obszar bez odkształcenia plastycznego. Jednak już na części wykroju walcowego o średnicy 3,2 mm materiał ulega odkształceniu, a wydłużenie ziaren ma kierunek prostopadły do osi odkuwki.

Na rysunku 11 przedstawiono mikrostrukturę odkuwki ze stopu aluminium PA2. W odróżnieniu od odkuwki stalowej odkształcenie materiału przebiega w całej objętości odkuwki. Podobnie jak w odkuwce stalowej, największa intensywność płynięcia występuje na mostku odkuwki (obszar 2'). Struktura w podstawie prostokątnej uwidoczniła jest na zdjęciach w postaci pasm odkształcenia, przebiegających symetrycznie względem płaszczyzny podziału matryc (obszar 1' i 2'). W płaszczyźnie podziału matryc (obszar 4') obserwuje się odkształcenie ziaren w kierunku prostopadłym do osi odkuwki. W części walcowej odkuwki ze stopu PA2 (na średnicy 4,8 i 3,2 mm – obszar 3') nie obserwuje się obszaru bez odkształcenia plastycznego. W tym obszarze, w przeciwieństwie

do odkuwki stalowej, występuje odkształcenie plastyczne.



Rys. 11. Mikrostruktura odkuwki ze stopu aluminium PA2

Fig. 11. Microstructure of a PA2 aluminium alloy forging

3. WNIOSKI

W przeprowadzonych pracach, opracowano konstrukcję narzędzi do kształtowania odkuwki łącznika, wykonano narzędzia i przeprowadzo-

no badania warsztatowe. W wyniku badań uzyskano złożone odkuwki łącznika zarówno ze stopów aluminium jak i ze stali z odchyłkami rzędu +0,1, -0,25 mm od wymiaru nominalnego.

Zaobserwowano wyraźny wpływ plastyczności materiału na stopień wypełnienia matrycy. Zauważono, że wykroj w obszarze podstawy prostokątnej lepiej jest wypełniony dla materiałów twardszych (stal, PA6) niż w przypadku materiałów miękkich (PA2).

Głównymi problemami w procesie kształtowania na zimno wyrobów typu łącznika o złożonym kształcie są:

1. trudne uzyskanie poprawnego wypełnienia matrycy w obszarze naroża podstawy prostokątnej,
2. zastosowanie zbyt małej grubości mostka co jest przyczyną nie zamykania się połówek matryc,
3. wysokie naciski podczas kształtowania w wykroju podstawy prostokątnej, co doprowadziło do pęknięcia narzędzi,

W procesie produkcyjnym konieczne są:

1. stosowanie powiększonej grubości mostka w przypadku odkuwek stalowych,

2. zmiana konstrukcji narzędzi przez zastosowanie wkładki sprężonej, celem zapobieżenia pękaniu narzędzi,
3. zoptymalizowanie kształtów wymiarów materiału wyjściowego,
4. zastosowanie w procesie technologicznym operacji kalibrowania odkuwki po okrawaniu wyływki.

*Pracę zrealizowano w ramach działalności statutowej finansowanej przez Ministerstwo Edukacji i Nauki: **BO 901 84 000** – Kształtowanie wyrobów o złożonym kształcie ze stali i metali lekkich.*

LITERATURA

- [1] *E. Doege, H. Mayer-Nolkemper, I. Saeed: Fließkurvenatlas metallischer Werkstoffe, Hanser Verlag München Wien, 1986.*
- [2] QFORM, User Guide, Moskwa, 1998
- [3] ICFG 1967-1992, Objectives, History, Published documents, Paris 1992.