



Analiza wpływu wybranych parametrów technologicznych procesu wyciskania na jakość powierzchni aluminiowej wypraski o zmiennym przekroju ścianki

Analysis of the influence of selected technological parameters of the extrusion process on the surface quality of aluminum drawpiece with varying wall cross-section

(1) Michał Chruściński*  (2) Szymon Szkudelski 

Instytut Obróbki Plastycznej, ul. Jana Pawła II 14, 61-139 Poznań, Poland

Informacje o artykule

Zgłoszenie: 16.04.2018
Recenzja: 21.10.2018
Akceptacja: 29.03.2019

Wkład autorów

- (1) Opracowanie artykułu i metodyki badawczej, udział w badaniach
- (2) Opracowanie artykułu, udział w badaniach

ORCID iD

- (1) <https://orcid.org/0000-0003-2127-3967>
- (2) <https://orcid.org/0000-0002-6140-0775>

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań nad technologią wytwarzania wypraski o zmiennym przekroju ścianki. W badaniach skupiono się na opracowaniu parametrów technologii umożliwiającej uzyskanie wyrobu wolnego od wad i nieciągłości materiału na powierzchni zarówno zewnętrznej, jak i wewnętrznej. Opracowano plan badań obejmujący obróbkę cieplną materiału wsadowego przed operacją wyciągania ścianki, redukcją jej grubości. Badania polegały na ocenie wpływu rodzaju obróbki cieplnej na jakość powierzchni wypraski. Przeprowadzono badania bez udziału międzyoperacyjnej obróbki cieplnej oraz z międzyoperacyjną obróbką (wyżarzaniem i przesycaaniem). Wyżarzanie przeprowadzono w temp. 450°C w czasie 4 godzin, następnie wypraski chłodzono z piecem. Obróbkę przesycaania wyprasek wykonano w trzech wartościach temperatury, tj. 450°C, 480°C i 510°C w czasie 1 godziny każdą; po tym czasie chłodzono je w wodzie. Podczas operacji wyciągania ścianki wypraski sprawdzono różne strategie formowania. W tym celu zaprojektowano i wykonano dwa komplety narzędzi kształtujących, które różniły się stopniem przeformowania przy jednakowym efekcie końcowym. W pierwszej części rozpatrywano wyciąganie ścianki przez dwie matryce, natomiast w kolejnej części – wyciąganie przez trzy matryce. W badaniach porównano również dwa środki smarne dedykowane do wyciskania stopów aluminium na zimno, mianowicie: olej multipress Al71 oraz stearynian cynku. W artykule wykazano, że odpowiednie dobranie parametrów, tj. międzyoperacyjna obróbka cieplna, smarowanie oraz stopień przeformowania, pozwala uzyskać wyrób wolny od wad powierzchni.

Słowa kluczowe: wyciąganie ścianki, wyciskanie przeciwbieżne, smarowanie, strategie formowania, aluminium EN AW-6060

Article info

Received: 16.04.2018
Reviewed: 21.10.2018
Accepted: 29.03.2019

Authors' contribution

- (1) Preparation of article and methodology, testing
- (2) Preparation of article, testing

Abstract

This article presents the results of tests concerning the production technology of an drawpiece with varying wall cross-section. Tests were focused on developing technological parameters making it possible to obtain a product free of defects and discontinuities of material on both the exterior and interior surface. A test plan was developed, covering heat treatment of the stock material prior to the wall drawing operation, reduction of its thickness. Tests involved assessment of the influence of the type of heat treatment on the drawpiece's surface quality. Tests with and without interoperational heat treatment (annealing and hyperquenching) were performed. Annealing was performed at 450°C for 4 hours, then extrudates were cooled along with the furnace. Hyperquenching of extrudates was performed at three temperatures, i.e. 450°C, 480°C and

* Autor do korespondencji. Tel.: +48 61 657 05 55; fax: +48 61 657 07 21; e-mail: michal.chruscinski@inop.poznan.pl

* Corresponding author. Tel.: +48 61 657 05 55; fax: +48 61 657 07 21; e-mail: michal.chruscinski@inop.poznan.pl

ORCID iDs

(1) <https://orcid.org/0000-0003-2127-3967>

(2) <https://orcid.org/0000-0002-6140-0775>

510°C, for 1 hour for each temperature; after this time, they were cooled in water. During the wall drawing operation performed on the extrudate, different forming strategies were checked. For this purpose, two sets of forming tools were designed and manufactured, which differed in their reduction ratio but yielded the same final effect. In the first part, wall drawing through two dies was considered, and in the next part – drawing through three dies. Tests also compared two lubricants dedicated for cold extrusion of aluminum alloys, namely: Al71 multipress oil and zinc stearate. This article demonstrates that proper selection of parameters, i.e. interoperational heat treatment, lubrication and reduction ratio, makes it possible to obtain a product free of surface defects.

Keywords: wall drawing, indirect extrusion, lubrication, forming strategies, EN AW-6060 aluminum

1. WSTĘP

Szereg wyrobów wykorzystywanych w przemyśle, charakteryzujących się symetrią osiową i zróżnicowaną grubością ścianek takich, jak: korpusy gaśnic, butle i pojemniki gazowe, korpusy pocisków oraz łuski, puszki na napoje, cylindry amortyzatorów, obudowy filtrów olejowych, wykonuje się różnymi technologiami obróbki plastycznej na zimno lub gorąco. Do wykonania tych wyrobów wykorzystuje się technologie: wyciskania współbieżnego i przeciwbieżnego, tłoczenia – wytlaczania i przetłaczania, wyciągania tulei stemplem przez matryce oraz zgniatania obrotowego [1–9].

Przeprowadzone w latach ubiegłych badania wyciskania przeciwbieżnego oraz wyciągania ścianki wyrobu cienkościennego o zmiennej grubości ścianki wykazały konieczność modyfikacji technologii sposobu kształtowania, smarowania obróbki cieplnej celem uzyskania wyrobu wolnego od wad i nieciągłości materiału na powierzchni zarówno zewnętrznej, jak i wewnętrznej. Istotą zagadnienia jest pozbycie się nieciągłości materiału pojawiających się na powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej kubeczka cienkościennego o zmiennym przekroju ścianki (rys. 1), wykonanego z materiału EN AW-6060. Nieciągłości pojawiały się podczas operacji wyciągania ścianki w miejscu zmiany jej przekroju. Na rys. 2 przedstawiono badany wyrób.

1. INTRODUCTION

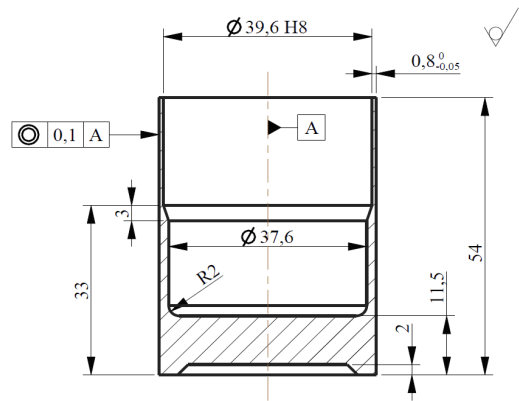
A series of products used in industry, characterized by axial symmetry and varied wall thickness, such as: fire extinguisher bodies, gas tanks and containers, bullet bodies and cartridge cases, beverage cans, shock absorber cylinders, oil filter housings, are manufactured using various hot and cold forming technologies. To manufacture these products, the following technologies are applied: direct and indirect extrusion, press forming – drawing and redrawing, drawing of a sleeve through a die using a punch, and roll forming [1–9].

Studies of indirect extrusion and wall drawing of a thin-walled product with varying wall thickness conducted in recent years demonstrated the need to modify the technology of forming, lubrication and heat treatment for the purpose of obtaining a product free of defects and discontinuities of material on both the exterior and interior surface. The essence of the problem is to get rid of discontinuities of material appearing on the exterior and interior surfaces of a thin-walled cup with varying wall cross-section (Fig. 1) made of EN AW-6060 material. Discontinuities appeared during the wall drawing operation, where the wall's cross-section changed. The tested product is presented in Fig. 2.



Rys. 1. Nieciągłość na powierzchni zewnętrznej po ostatniej operacji wyciągania ścianki

Fig. 1. Discontinuity on exterior surface after final wall drawing operation



Rys. 2. Wypraska cienkościenna o zmiennym przekroju ścianki

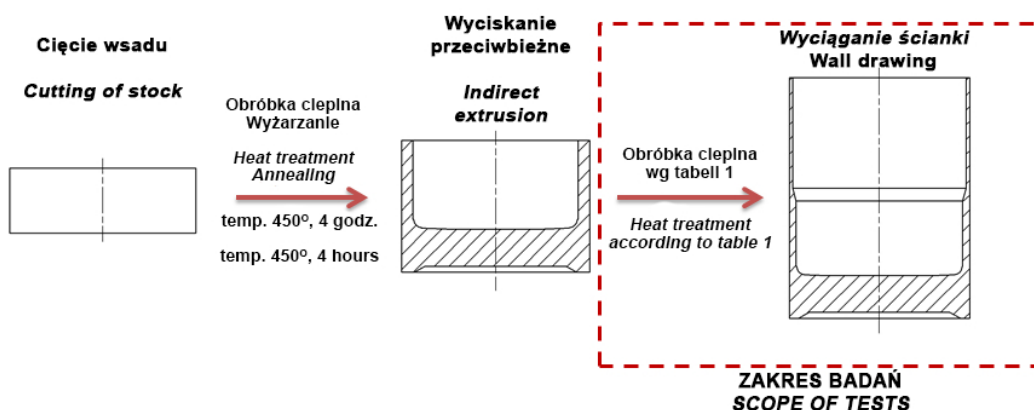
Fig. 2. Thin-walled extrudate with varying wall cross-section

2. METODYKA BADAŃ

Celem badań było rozwinięcie technologii kształtowania w zakresie obróbki plastycznej wyrobów o szczególnych cechach użytkowych. Badania obejmowały dobór parametrów technologicznych procesu. Badania wykonane zostały na wypraskach z materiału EN AW-6060, które zostały wyciśnięte przeciwbieżnie. Przed procesem kształtowania przeprowadzono obróbkę cieplną wyżarzania w celu zwiększenia plastyczności przez zwiększenie wielkości ziarna i obniżenia twardości. Wyżarzanie przeprowadzono w temperaturze 450°C w czasie 4 godzin; po tym czasie materiał wsadowy chłodzono z piecem. Przygotowane w ten sposób wypraski poddano operacji wyciągania ścianki wg planu badań przedstawionego w tab. 1. Technologia wykonana wg rys. 3.

2. TESTING METHODOLOGY

The goal of tests was to expound on forming technology with respect to plastic working of products with special functional features. Tests covered selection of the technological parameters of the process. Tests were performed on extrudates made of EN AW-6060 material, which were extruded indirectly. Prior to the forming process, annealing heat treatment was performed in order to increase plasticity by enlarging grain size and reducing hardness. Annealing was performed at 450°C for 4 hours; after this time, the charge material was cooled along with the furnace. Extrudates prepared in this manner were subjected to the wall drawing operation according to the test plan presented in Tab. 1. The technology was according to Fig. 3.



Rys. 3. Technologia wytwarzania wypraski cienkościennej o zmiennym przekroju ścianki – zakres badań

Fig. 3. Production technology of thin-walled drawpiece with varying wall cross-section – scope of tests

Tab. 1. Plan badań nad technologią wytwarzania

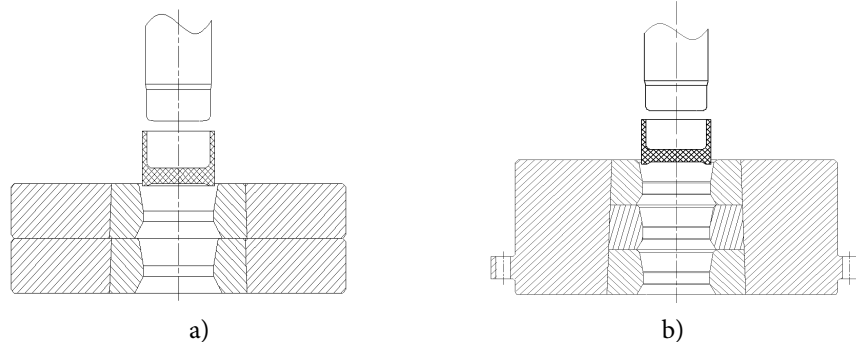
Tab. 1. Production technology test plan

Material <i>Material</i>	Badanie <i>Tests</i>	Wyciąganie ścianki / <i>Wall drawing</i>		
		Strategia formowania ścianki <i>Wall forming strategy</i>	Obróbka cieplna <i>Heat treatment</i>	Smarowanie <i>Lubrication</i>
EN AW-6060	Badanie strategii formowania <i>Test of forming strategy</i>	Przez dwie matryce <i>Through two dies</i>	Brak obróbki cieplnej <i>No heat treatment</i>	olej multipress Al71 / <i>Al71 multipress oil</i> stearynian cynku <i>zinc stearate</i>
			Przesycenie w temp. 510°C <i>Hyperquenching at 510°C</i>	olej multipress Al71 <i>Al71 multipress oil</i> stearynian cynku <i>zinc stearate</i>
		Przez trzy matryce <i>Through three dies</i>	Brak obróbki cieplnej <i>No heat treatment</i>	olej multipress Al71 <i>Al71 multipress oil</i> stearynian cynku <i>zinc stearate</i>
			Przesycenie w temp. 510°C <i>Hyperquenching at 510°C</i>	olej multipress Al71 <i>Al71 multipress oil</i> stearynian cynku <i>zinc stearate</i>
	Badanie obróbki cieplnej <i>Test of heat treatment</i>	Przez trzy matryce <i>Through three dies</i>	Brak obróbki cieplnej <i>No heat treatment</i>	olej multipress Al71 <i>Al71 multipress oil</i> stearynian cynku <i>zinc stearate</i>
			Przesycenie w temp. 450°C <i>Hyperquenching at 450°C</i>	olej multipress Al71 <i>Al71 multipress oil</i> stearynian cynku <i>zinc stearate</i>
			Przesycenie w temp. 450°C <i>Hyperquenching at 450°C</i>	olej multipress Al71 <i>Al71 multipress oil</i> stearynian cynku <i>zinc stearate</i>
			Przesycenie w temp. 480°C <i>Hyperquenching at 480°C</i>	olej multipress Al71 <i>Al71 multipress oil</i> stearynian cynku <i>zinc stearate</i>
			Przesycenie w temp. 510°C <i>Hyperquenching at 510°C</i>	olej multipress Al71 <i>Al71 multipress oil</i> stearynian cynku <i>zinc stearate</i>
			Przesycenie w temp. 510°C <i>Hyperquenching at 510°C</i>	olej multipress Al71 <i>Al71 multipress oil</i> stearynian cynku <i>zinc stearate</i>

Do przeprowadzenia badań nad różną strategią formowania ścianki, podczas jej wyciągania, zaprojektowano i wykonano narzędzia kształtujące w dwóch wariantach, tj. kształtowanie przez dwie matryce oraz kształtowanie przez trzy matryce, co wiąże się z różnym stopniem przeformowania dla danej matrycy. Końcowy stopień przeformowania w obu przypadkach jest taki sam.

To perform tests on various wall forming strategies over the course of wall drawing, two variants of forming tools were designed and manufactured, i.e. forming through two dies and forming through three dies, involving different reduction ratios of each die. The final reduction ratio is the same in both cases. As part of tests, the influence of the reduction ratio on the

W ramach badań porównano wpływ stopnia odkształcenia na jakości powierzchni wyciąganego detalu. Wyciąganie przez dwie matryce kształtujące polega na zmianie grubości ścianki wyciśniętego przeciwbieżnie detalu w jednoczesnym przejściu przez dwie matryce kształtujące na grubość docelową. Odkształcenie w pierwszym oraz w drugim stopniu wynosi 50% grubości początkowej ścianki detalu. W pierwszym przejściu grubość ścianki zmienia się z 1,7 mm na 1,25 mm, natomiast w drugim przejściu z 1,25 mm na docelowy wymiar 0,8 mm. Na rys. 4a przedstawiono schemat wyciągania ścianki detalu przez dwie matryce wspólnie w jednej operacji.



Rys. 4. Schemat wyciągania ścianki wypraski przez: a) dwie matryce, b) trzy matryce

Fig. 4. Scheme of device used for hydrostatic extrusion

Wyciąganie przez trzy matryce kształtujące polega na zmianie na grubość docelową ścianki, w jednoczesnym przejściu, przez trzy matryce kształtujące. Stopień odkształcenia dla pierwszej matrycy wynosi 50%, dla drugiej 33,3%, natomiast dla trzeciej 16,7%. Grubość ścianki po przejściu przez pierwszą matrycę zmienia się z 1,7 mm na 1,25 mm, po przejściu przez drugą matrycę z 1,25 na 0,95 mm, natomiast trzecia matryca kształtuje docelowy wymiar 0,8 mm. Na rys. 4b przedstawiono schemat wyciągania przez trzy matryce.

Po procesie wyciskania, a przed wyciągnięciem ścianki przez trzy matryce, przeprowadzono wiele wariantów międzyoperacyjnej obróbki cieplnej.

Pierwszym rozpatrywanym wariantem było powtórzenie obróbki wyżarzania w temperaturze 450°C. Oprócz tego przeprowadzono trzy warianty obróbki cieplnej przesycań dla materiału EN AW-6060 w trzech wartościach temperatury, tj. 450°C, 480°C, 510°C, w czasie 1 godziny; po tym czasie wypraski chłodzono w wodzie.

drawpiece's surface quality was compared. Drawing through two forming dies is based on changing the wall thickness of the indirectly extruded piece to the target thickness through simultaneous passage through two forming dies. The reduction ratio of the first and second dies combined amounts to 50% of the piece's initial wall thickness. In the first draw, wall thickness changes from 1.7 mm to 1.25mm, and in the second draw, from 1.25 mm to the target dimension of 0.8 mm. Fig. 4a presents a diagram of drawing the piece's wall through two dies in one operation.

Drawing through three forming dies is based on changing the wall's thickness to the target thickness in one pass through three forming dies. The reduction ratio of the first die amounts to 50%, of the second 33.3%, and of the third 16.7%. After passing through the first die, wall thickness changes from 1.7 mm to 1.25 mm, after passing through the second die from 1.25 mm to 0.95 mm, and the third die reduces wall thickness to the target dimension of 0.8 mm. Fig. 4b presents a diagram of drawing through three dies.

After the extrusion process and prior to wall drawing through three dies, multiple variants of interoperational heat treatment were performed.

The first considered variant was repeating annealing at 450°C. Besides this, three variants of hyperquenching heat treatment were performed for EN AW-6060 material at three temperatures, i.e. 450°C, 480°C, 510°C, for 1 hour; after this time, extrudates were cooled in water.

3. WYNIKI BADAŃ

3.1. Obróbka cieplna

Przeprowadzono pomiar twardości dla aluminium EN AW-6060 w różnych wariantach obróbki cieplnej. Badania przeprowadzono na twardościomierzu MiCROMET 2104. Wyniki pomiarów przedstawiono w tab. 2.

3. TEST RESULTS

3.1. Heat treatment

Hardness measurement was performed for EN AW-6060 aluminum for different heat treatment variants. Tests were performed on a MiCROMET 2104 hardness tester. Measurement results are given in Tab. 2.

Tab. 2. Pomiar twardości materiału EN AW-6060
Tab. 2. Hardness measurement of EN AW-6060 material

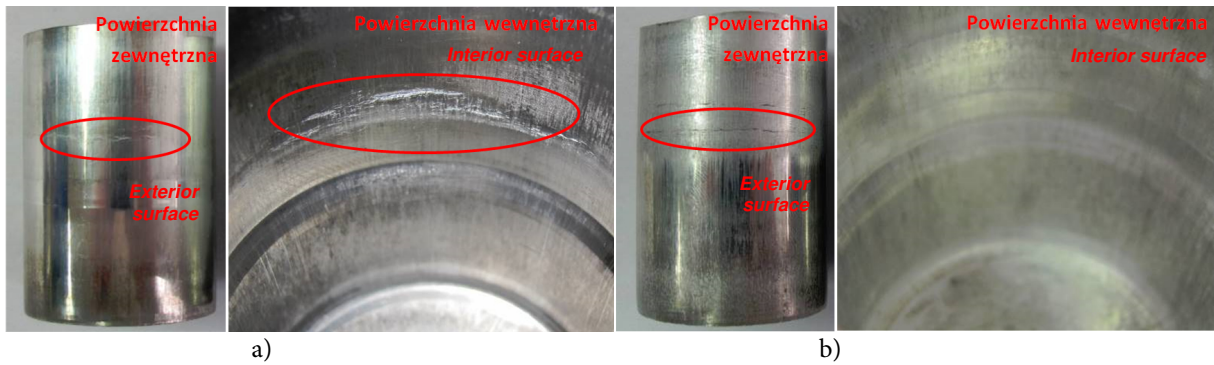
Obróbka cieplna / Heat treatment		Twardość HV0,5 / HV 0.5 hardness			
		Pomiar 1 Measurement 1	Pomiar 2 Measurement 2	Pomiar 3 Measurement 3	Średnia Mean
Stan dostawy / Delivery condition		92,4	89,3	84,9	88,9
Wyżarzanie / Annealing	450°C	29,5	30,9	29,6	30
Przesycanie / Hyperquenching	450°C	37,2	40,3	35,9	37,8
	480°C	34,5	35,1	34,9	34,8
	510°C	31,8	36,5	33,0	33,8

3.1.1. Wyciąganie ścianki bez międzyoperacyjnej obróbki cieplnej

Poniżej zostały przedstawione detale uzyskane w różnych wariantach smarnych bez przeprowadzenia między operacyjnej obróbki cieplnej; materiał wsadowy przed wyciskaniem przeciwnym był jedynie wyżarzony, po wyciskaniu nie był już poddany innej obróbce cieplnej. Po pierwszym zabiegu wyciskania od razu wykonano drugi zabieg: wyciąganie ścianki przez trzy matryce. Na rys. 5a przedstawiono wady uzyskanych w ten sposób detali przy smarowaniu olejem. Wady pojawiły się na powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej wypraski w postaci nieciągłości materiału powyżej miejsca zmiany grubości ścianki. Rys. 5b przedstawia próbki uzyskane w innych warunkach smarnych, mianowicie po smarowaniu stearynianem. Na rysunku można zaobserwować pojawienie się nieciągłości materiału na powierzchni zewnętrznej, natomiast powierzchnia wewnętrzna przy takim wariantcie smarowania nie ulega uszkodzeniom.

3.1.1. Wall drawing without interoperational heat treatment

Pieces obtained with different variants of lubrication without interoperational heat treatment are presented below; prior to indirect extrusion, the stock material was only annealed and not heat-treated further. After the first extrusion operation, the second operation, wall drawing through three dies, was performed immediately. Fig. 5a presents defects of pieces obtained in this manner, with oil lubrication. Defects appeared on the exterior and interior surface of the draw-piece in the form of material discontinuities above the site of wall thickness change. Fig. 5b presents samples obtained under different lubrication conditions, namely, after lubrication with zinc stearate. It can be seen on the drawing that material discontinuities appeared on the exterior surface, while the interior surface is undamaged in this lubrication variant.



Rys. 5. Wypraski uzyskane w operacji wyciągania ścianki bez międzyoperacyjnej obróbki cieplnej, smarowane:
a) olejem multipress Al17, b) stearynianem cynku

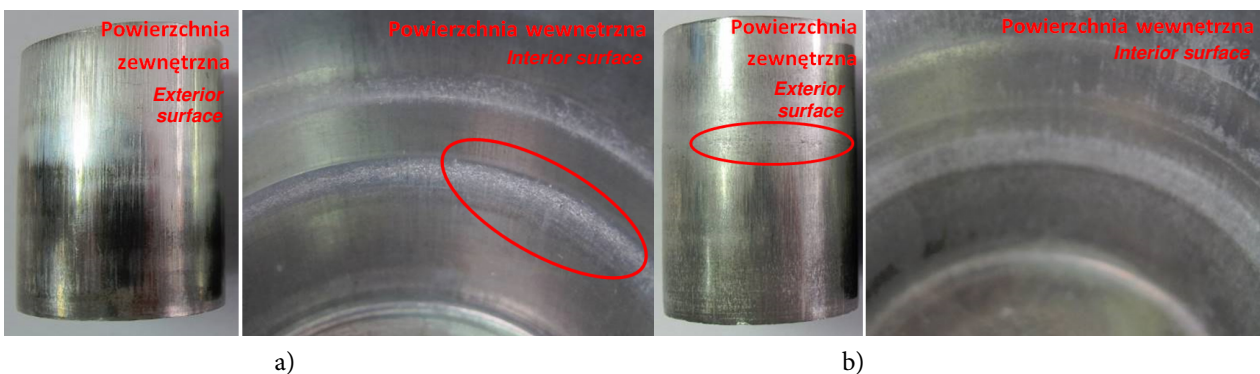
Fig. 5. Drawpieces obtained in the wall drawing operation without interoperational heat treatment, lubricated with:
a) Al17 multipress oil, b) zinc stearate

3.1.2. Wyciąganie ścianki po międzyoperacyjnym wyżarzaniu

Kolejnym wariantem badania obróbki cieplnej było sprawdzenie wpływu obróbki cieplnej (międzyoperacyjnej) na uzyskaną jakość powierzchni wypraski. W tym celu po wyciskaniu przeciwbieżnym, wypraski poddano wyżarzaniu w temperaturze 450°C. Tak przygotowane próbki poddano drugiemu zabiegowi wyciągania ścianki przez trzy matryce. Na rys. 6a przedstawiono wypraski uzyskane przy smarowaniu olejem. Nie widać na nich wad zewnętrznych, natomiast powierzchnia wewnętrzna posiada, w miejscu zmiany grubości ścianki, widoczne ślady rozwarstwień; najprawdopodobniej spowodowane zbyt obfitym smarowaniem olejem. Rys. 6b przedstawia wyniki prób przy użyciu smaru (stearynian cynku). Widać na nim nieciągłości materiału na powierzchni zewnętrznej natomiast brak jest wad powierzchni wewnętrznej.

3.1.2. Wall drawing after interoperational annealing

The next variant of the heat treatment test was to check the influence of (interoperational) heat treatment on the obtained surface quality of the drawpiece. For this purpose, after indirect extrusion, extrudates were annealed at 450°C. Samples prepared in this manner were subjected to the second wall drawing operation, through three dies. Fig. 6a presents drawpieces obtained with oil lubrication. No exterior defects can be seen on them, however the interior surface has visible signs of delamination at the site of wall thickness change; most probably caused by excessive lubrication with oil. Fig. 6b presents the results of tests where zinc stearate was used as the lubricant. It can be seen in the figure that there are material discontinuities on the exterior surface and no defects on the interior surface.



Rys. 6. Wypraska wykonana po międzyoperacyjnej obróbce wyżarzania, smarowane:
a) olejem multipress Al71, b) stearynianem cynku

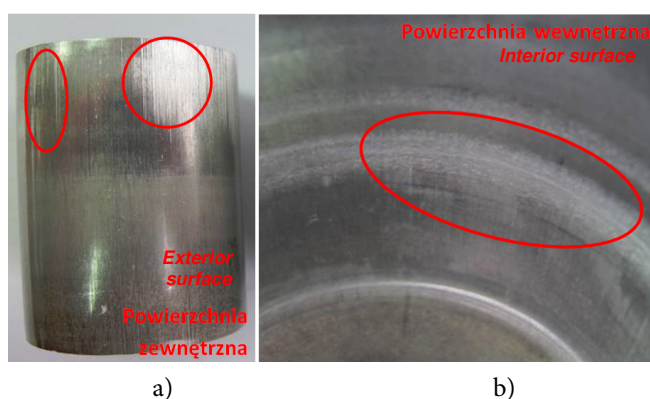
Fig. 6. Drawpiece made after interoperational annealing treatment, lubricated with:
a) Al71 multipress oil, b) zinc stearate

3.1.3. Wyciąganie ścianki po międzyoperacyjnym przesycaniu

W celu sprawdzenia wpływu rodzaju obróbki cieplnej na jakość powierzchni wypraski cienkościenniej o zmiennym przekroju ścianki, wykonano międzyoperacyjne przesycanie w trzech wariantach temperatury tj. 450, 480, 510°C. Wyniki porównano do wyników uzyskanych po wyżarzaniu. Proces wyciągania ścianki przeprowadzono przez trzy matryce, w dwóch wariantach smarowania. Niezależnie od temperatury przesycania, detale wyciągane jednocześnie przez trzy matryce, smarowane olejem multipress Al71, nosiły ślady mikro nieciągłości materiału na powierzchni wewnętrznej oraz rys na powierzchni zewnętrznej. Nieciągłości materiału na powierzchni wewnętrznej były spowodowane zbyt obfitym smarowaniem stempla, natomiast rysy na powierzchni zewnętrznej przerywaniem warstwy smarnej. Na rys. 7 zilustrowano powierzchnie zewnętrzną i wewnętrzną wypraski poddanej międzyoperacyjnej obróbce przesycania, wykonanej w temp. 480°C, po smarowaniu olejem multipress Al71. Po zmianie smaru na stearynian cynku jakość powierzchni po wyciąganiu ścianki uległa poprawie. Wypraski wyciągane przez trzy matryce, po przesycaniu w temperaturze 480°C i 510°C i smarowaniu stearynianem cynku, nie nosiły śladów wad powierzchni zewnętrznej ani wewnętrznej (rys. 8b), natomiast smarowane stearynianem cynku (po przesycaniu w temp 450°C) miały wady powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej w postaci rozwarstwień materiału (rys. 8a).

3.1.3. Wall drawing after interoperational hyperquenching

In order to check the influence of the type of heat treatment on the surface quality of the thin-walled drawpiece with varying wall cross-section, inter-operational hyperquenching was performed in three temperature variants, i.e. 450, 480, 510°C. The results were compared to results obtained after annealing. The wall drawing process was performed with the use of three dies, in two lubrication variants. Regardless of hyperquenching temperature, pieces drawn through three dies simultaneously, lubricated with Al71 multipress oil, bore traces of microdiscontinuities of the material on the interior surface and cracks on the exterior surface. Material discontinuities on the interior surface were caused by excessive lubrication of the punch, while cracks on the exterior surface were due to breaking of the lubricating film. Fig. 7 illustrates the exterior and interior surfaces of the drawpiece subjected to interoperational hyperquenching treatment, performed at 480°C, after lubrication with Al71 multipress oil. After the lubricant was changed to zinc stearate, surface quality after wall drawing was improved. Drawpieces drawn through three dies, after hyperquenching at 480°C and 510°C and lubrication with zinc stearate, did not bear traces of exterior or interior surface defects (Fig. 8b), while those lubricated with zinc stearate (after hyperquenching at 450°C) half exterior and interior surface defects in the form of delaminations of the material (Fig. 8a).



Rys. 7. Wypraska uzyskana po międzyoperacyjnym przesycaniu, smarowaniu olejem multipress Al71: a) powierzchnia zewnętrzna, b) powierzchnia wewnętrzna

Fig. 7. Drawpiece obtained after interoperational hyperquenching, lubrication with Al71 multipress oil: a) exterior surface, b) interior surface



Rys. 8. Wypraski smarowane stearynianem cynku wykonane po międzyoperacyjnym przesycaniu:
a) w temp. 450°C, b) w temp. 510°C

Fig. 8. Drawpieces lubricated with zinc stearate, made after interoperational hyperquenching:
a) at 450°C, b) at 510°C

3.2. Strategia formowania ścianki wypraski

Na rys. 9 przedstawiono powierzchnię zewnętrzną i wewnętrzną naczyń cienkościennych o zmiennym przekroju ścianki, wyciągniętych jednocześnie przez dwie kształtujące matryce, po międzyoperacyjnym przesycaniu. Wypraski te noszą wady w postaci nieciągłości materiału na powierzchni wewnętrznej, niezależnie od stosowanego przy wyciąganiu środka smarowego. Natomiast rys. 10 przedstawia wypraski bez międzyoperacyjnej obróbki cieplnej, poddane procesowi wyciągania ścianki przez dwie matryce. W zależności od rodzaju smarowania, podczas procesu wyciągania pojawiały się na powierzchni zewnętrznej znikome ślady nieciągłości materiału; natomiast na powierzchni wewnętrznej nieciągłość materiału przyjmowała postać głębokich rozwarstwień.

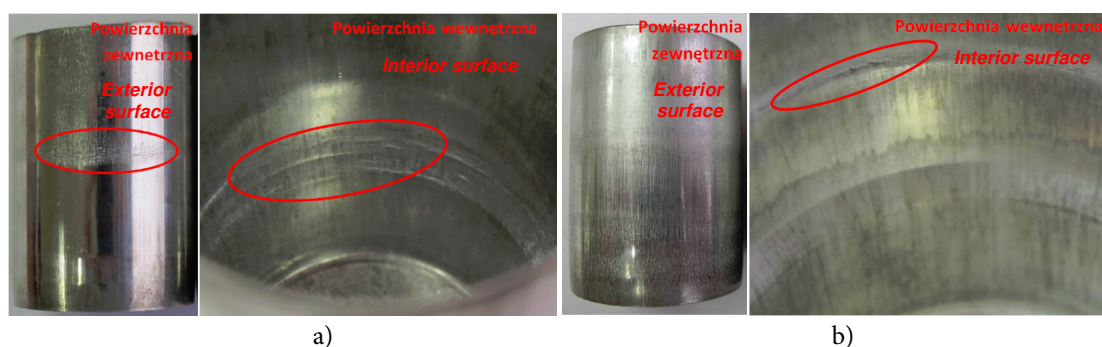
3.2. Wall forming strategy

Fig. 9 presents the exterior and interior surface of thin-walled vessels with a varying cross-section, drawn simultaneously through two forming dies, after interoperational hyperquenching. These drawpieces bear defects in the form of material discontinuities on the interior surface, regardless of the lubricant applied during drawing. Meanwhile, Fig. 10 presents drawpieces without interoperational heat treatment, subjected to the process of wall drawing through two dies. Depending on the type of lubrication, negligible traces of material discontinuity appeared on the exterior surface during the drawing process, while on the interior surface, material discontinuity took on the form of deep delaminations.



Rys. 9. Wypraski po międzyoperacyjnym przesycaniu poddane procesowi wyciągania ścianki przez dwie matryce, smarowane: a) olejem multipress Al71, b) stearynianem cynku

Fig. 9. Drawpieces after interoperational hyperquenching subjected to the process of wall drawing through two dies, lubricated with: a) Al71 multipress oil, b) zinc stearate



Rys. 10. Powierzchnia zewnętrzna i wewnętrzna naczyń bez międzyoperacyjnej obróbki cieplnej, po procesie wyciągania ścianki przez dwie matryce, smarowane: a) olejem multipress Al71, b) stearynianem cynku

Fig. 10. Exterior and interior surface of vessels without interoperational heat treatment, after the process of wall drawing through two dies, lubricated with: a) Al71 multipress oil, b) zinc stearate

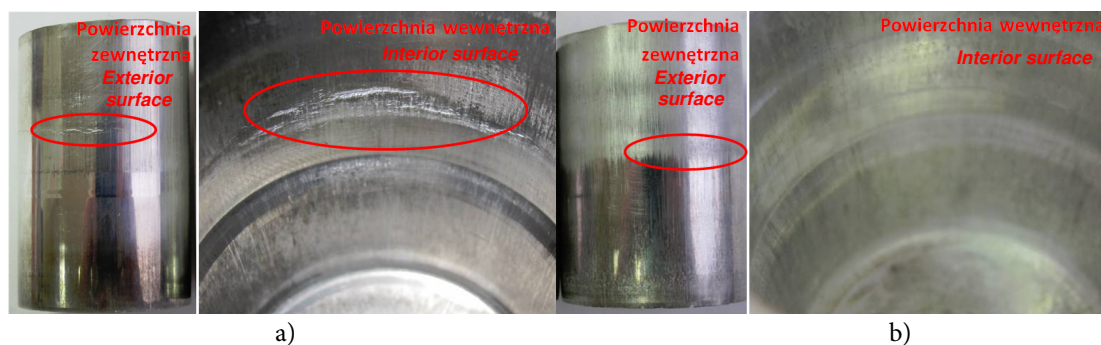
Na rys. 11 i 12 przedstawiono powierzchnię naczyń wyciągniętych przez trzy matryce w dwóch wariantach smarnych, bez międzyoperacyjnej obróbki cieplnej oraz z międzyoperacyjnym przesycaniem. Wyrób wolny od wad powierzchni udało uzyskać się jedynie w jednym przypadku, tj. po przesycaniu wypraski smarowanej stearynianem cynku.

Fig. 11 and 12 present the surfaces of vessels drawn through three dies in two lubrication variants, without interoperational heat treatment and with interoperational hyperquenching. A product free of surface defects was successfully obtained in only one case, i.e. after hyperquenching of the extrudate, lubrication with zinc stearate.



Rys. 11. Wypraski po międzyoperacyjnym przesycaniu poddane procesowi wyciągania ścianki przez trzy matryce, smarowane: a) olejem multipress Al71, b) stearynianem cynku

Fig. 11. Drawpieces after interoperational hyperquenching subjected to the process of wall drawing through three dies, lubricated with: a) Al71 multipress oil, b) zinc stearate



Rys. 12. Powierzchnia zewnętrzna i wewnętrzna naczyń po smarowaniu bez międzyoperacyjnej obróbki cieplnej po procesie wyciągania ścianki przez trzy matryce: a) olejem multipress Al71, b) stearynianem cynku

Fig. 12. Exterior and interior surface of vessels after lubrication without interoperational heat treatment, after the process of wall drawing through three dies, lubricated with: a) Al71 multipress oil, b) zinc stearate

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Z badań różnych procesów kształtowania wynika, iż mają one istotny wpływ na powstanie wad na powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej kształtowanej wypraski. Próbkki poddane wielo-wariantowej obróbce cieplnej i smarowaniu, przy wyciąganiu przez dwie matryce posiadały zawsze wyraźne wady powierzchni, natomiast przy wyciąganiu przez trzy matryce nie posiadały wad przy zastosowaniu odpowiedniego wariantu smarowania i obróbki cieplnej.

Na podstawie przeprowadzonych badań międzyoperacyjnej obróbki cieplnej, można stwierdzić, że ma ona istotny wpływ na pojawianie się wad powierzchni podczas wyciągania ścianki. Powierzchnię wypraski wolną od wad udało się uzyskać po przeprowadzeniu przesyłania w temperaturze 480°C i 510°C. Istotny wpływ na uzyskanie wypraski wolnej od wad miał smar; wypraski smarowane olejem, niezależnie od rodzaju obróbki cieplnej, posiadały w większym lub mniejszym stopniu wady powierzchni wewnętrznej, pojawiające się przeważnie w miejscu zmiany przekroju ścianki. Natomiast odpowiednia obróbka cieplna i stopień przeformowania przy smarowaniu stearynianem cynku pozwoliła uzyskać wyrób całkowicie wolny od wad powierzchniowych.

PODZIĘKOWANIA

Badania zostały przeprowadzone w ramach projektu BO .901.0065 pt. „Badania technologii wytwarzania wyrobów o szczególnych cechach użytkowych, metodami obróbki plastycznej” finansowanego w ramach działalności statutowej Instytutu Obróbki Plastycznej.

LITERATURA

- [1] Gołowin W.A., A.N. Mitkin, A.G. Rieznikow. 1975. *Wyciskanie metali na zimno*. Warszawa: WNT.
- [2] Materniak Jan. 1994. *Obróbka Plastyczna materiały pomocnicze Część I Wyciskanie metali na zimno*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.

4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

Tests of different forming processes show that they have a significant influence on defect formation on the exterior and interior surfaces of the formed drawpiece. Samples were subjected to multiple variants of heat treatment and lubrication, and when drawn through two dies, always had distinct surface defects, whereas after drawing through three dies, products did not have defects when the proper lubrication and heat treatment variants were applied.

Based on conducted tests of interoperational heat treatment, it can be stated that it has a significant influence on the appearance of surface defects during wall drawing. A defect-free surface of the drawpiece was successfully obtained after hyperquenching was performed at 480°C and 510°C. Lubricant had a significant influence on obtaining a defect-free drawpiece; regardless of the type of heat treatment, drawpieces lubricated with oil had interior surface defects to a greater or lesser extent, appearing primarily at the site of wall thickness change. Whereas the proper heat treatment and reduction ratio, with zinc stearate lubrication, made it possible to obtain a product completely devoid of surface defects.

ACKNOWLEDGEMENTS

Tests were performed as part of project BO .901.0065 titled “Testing of production technology of products with special functional features using metalforming methods” financed within the framework of the Metal Forming Institute.

REFERENCES

- [1] Gołowin W.A., A.N. Mitkin, A.G. Rieznikow. 1975. *Wyciskanie metali na zimno*. Warszawa: WNT.
- [2] Materniak Jan. 1994. *Obróbka Plastyczna materiały pomocnicze Część I Wyciskanie metali na zimno*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.

- [3] Materniak Jan, Alina Starczewska. 1999. *Obróbka Plastyczna materiały pomocnicze Część II Wyciąganie wytłoczek*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- [4] Bączkowski Andrzej. 2005. „Kształtowanie korpusów cylindrycznych ze stopów aluminium metodą zgniatania obrotowego”. *Obróbka Plastyczna Metali XVI* (2): 23-26.
- [5] *Lubrication aspects in cold forging aluminium and aluminium alloys*. ICFG Document 10/95. Meisenbach Bamberg.
- [6] Romański Piotr, Grzegorz Stradomski, Wojciech Ciepela, JanW. Pilarczyk. 2015. „The influence of heat treatment on toughness of extruded profiles from EN AW-6060 aluminium alloy”. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze* 82 (1): 101-104.
- [7] Gierzyńska-Dolna Monika, Janina Adamus, Mariusz Motyl. 1994. „Wpływ smarów technologicznych na zjawiska kontaktowe w procesach obróbki plastycznej”. *Tribologia* (3): 196-205.
- [8] Adamus Janina. 2004. „The Influence of friction and lubrication on sheet-aluminium forming process”. *Mat. 14th International Colloquium Tribology: Tribology and Lubrication Engineering* (1): 1813-1818.
- [9] Dyja Katarzyna, Janina Adamus. 2004. „Badania nad doborem smarów technologicznych do tłoczenia blach aluminiowych i tytanowych”. *Tribologia* (3): 19-28.
- [3] Materniak Jan, Alina Starczewska. 1999. *Obróbka Plastyczna materiały pomocnicze Część II Wyciąganie wytłoczek*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- [4] Bączkowski Andrzej. 2005. „Kształtowanie korpusów cylindrycznych ze stopów aluminium metodą zgniatania obrotowego”. *Obróbka Plastyczna Metali XVI* (2): 23-26.
- [5] *Lubrication aspects in cold forging aluminium and aluminium alloys*. ICFG Document 10/95. Meisenbach Bamberg.
- [6] Romański Piotr, Grzegorz Stradomski, Wojciech Ciepela, JanW. Pilarczyk. 2015. „The influence of heat treatment on toughness of extruded profiles from EN AW-6060 aluminium alloy”. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze* 82 (1): 101-104.
- [7] Gierzyńska-Dolna Monika, Janina Adamus, Mariusz Motyl. 1994. „Wpływ smarów technologicznych na zjawiska kontaktowe w procesach obróbki plastycznej”. *Tribologia* (3): 196-205.
- [8] Adamus Janina. 2004. „The Influence of friction and lubrication on sheet-aluminium forming process”. *Mat. 14th International Colloquium Tribology: Tribology and Lubrication Engineering* (1): 1813-1818.
- [9] Dyja Katarzyna, Janina Adamus. 2004. „Badania nad doborem smarów technologicznych do tłoczenia blach aluminiowych i tytanowych”. *Tribologia* (3): 19-28.