



## Ocena powstawania pęknięć na powierzchni obudowy filtra paliwa gazowego

### *Evaluation of cracking on the surface of gas fuel filter housing*

Jarosław Samolczyk\*

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

#### Informacje o artykule

Data przyjęcia: 25.05.2015

Data recenzji: 13.07.2015

Data akceptacji: 30.09.2015

#### Streszczenie

Celem kształtowania wyrobów metodami obróbki plastycznej jest nadanie materiałowi żądanego kształtu przez wywołanie w nim odpowiednich odkształceń plastycznych materiału bez naruszenia spójności materiału. Kształtowanie wyrobów z aluminium i jego stopów – mimo, że jest od dawna powszechnie stosowane – nastęcza wiele trudności technologicznych. W warunkach przemysłowych bardzo często pojawiają się różne wady wyrobów kształtowanych plastycznie na zimno. Do szczególnie niebezpiecznych wad należą utrata stateczności lub pęknięcia kształtowanych wyrobów. W nowoczesnej technologii, do wytwarzania wyrobów precyzyjnych coraz częściej wykorzystuje się niekonwencjonalne procesy, zapewniające uzyskanie wysokiej dokładności wymiarowej przy zachowaniu minimalnych strat materiałowych powstających w trakcie wykańczającej obróbki skrawaniem. Stosuje się różne procesy kształtowania plastycznego metali na zimno, gdyż w takich warunkach można otrzymać bardzo dokładne wyroby bez lub prawie bez nadatków na obróbkę skrawaniem, czyli wyroby typu „net shape” lub „near net shape”. W procesach plastycznego kształtowania na zimno następuje znaczne umocnienie metalu, które przyczynia się do stopniowego obniżania zdolności do odkształceń plastycznych. W procesie kształtowania korpusów filtrów paliwa gazowego połączono dwa procesy przebiegające jednocześnie:

- proces wyciskania złożonego, w którym następuje jednoczesne płynięcie metalu w dwóch kierunkach; w kierunku współbieżnym (kształtowanie krućca) oraz w kierunku przeciwbieżnym (kształtowanie tuby); w procesie tym występuje trójosiowe nierównomierne ściskanie, sprzyjające zachowaniu spójności materiału;
- proces wywijania obrzeża tuby podczas końcowej fazy procesu wyciskania; w procesie tym dominują naprężenia rozciągające, sprzyjające pękaniu materiału.

Celem niniejszej pracy jest przeprowadzenie analizy przyczyn utraty spójności materiału w procesie kształtowania na zimno tub filtrów paliwa gazowego. Podczas opracowywania metodyki badań, wzięto pod uwagę fakt, że częstość występowania zjawiska pęknięcia ścianki korpusu filtrów paliwa gazowego wynosi: w przypadku pierwszego dostawcy około 10–12%, a w przypadku drugiego 20 sztuk na 100 000 krążków. W pracy przedstawiono wyniki badań obudowy filtra paliwa gazowego. Badano strukturę i wybrane własności materiałów wyjściowych, półwyrobów, wyrobów gotowych i wyprasek pękniętych. Na podstawie przeprowadzonych wstępnych badań podjęto próbę określenia wad materiału, które prowadzą do naruszenia spójności materiału i powstawania pęknięć ciągłych. Wyniki badań eksperymentalnych wskazują, że istotny wpływ na powstanie wad ma czystość materiału wyjściowego i jego własności plastyczne.

**Słowa kluczowe:** obudowa filtra paliwa gazowego, pęknięcie, struktura, własności plastyczne, tarcie, naprężenia własne

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

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

**Article info**

Received: 25.05.2015

Reviewed: 13.07.2015

Accepted: 30.09.2015

**Abstract**

The purpose of shaping products using plastic working methods is to give a material the desired shape by generating the appropriate plastic deformations without breaking the cohesion. Shaping of products from aluminum and its alloys poses many technological difficulties despite the fact that it has been commonly applied for a long time. Various defects of cold-worked products very frequently appear under industrial conditions. Loss of cohesion or cracking are particularly dangerous defects. In modern technology, non-conventional processes that ensure achievement of high dimensional accuracy and minimal material losses during post-machining are employed. By using cold plastic working processes precise products or products with nearly no allowance for machining are manufactured, i.e. "net shape" or "near net shape" products. Metals are significantly hardened during cold plastic working processes leading to a gradual reduction of capacity for plastic deformation. During shaping of fuel gas filter housing two simultaneous processes are involved:

- combined extrusion, in which metal flows in two directions: forward (shaping of the connector pipe) and reverse (tube shaping); non-uniform tri-axial compression enabling conservation of material cohesion are present in this process;
- flanging of the tube rim during the final stage of the extrusion; tensile stresses fostering cracking of the material are dominant in this process.

The goal of this paper was to investigate the causes of loss of cohesion during cold working of the fuel gas filter housings. As the research methodology was being prepared, it was accounted for that cracking frequency of fuel gas filter housings amounts to: approx. 10–12% in the case of the first Supplier, and 20 pieces per 100,000 disks in the case of the second Supplier. The microstructure and selected properties of initial material, semi-finished product, ready product, and cracked moldings were studied. Based on preliminary studies, an attempt was made to identify defects in the material that lead to loss of the cohesion and further rupturing. The results of experimental tests indicate that the purity of the starting material and its plastic properties have a significant impact on the formation of defects.

**Keywords:** gas fuel filter housing, cracking, structure, plastic properties, friction, residual stresses

**1. WSTĘP**

Kształtowanie wyrobów z aluminium i jego stopów – mimo, że jest od dawna powszechnie stosowane – nastęrcza wiele trudności technologicznych [1–12]. Często pojawiają się różne wady w wyrobach kształtowanych plastycznie na zimno.

Do szczególnie niebezpiecznych wad należą utrata spójności lub pęknięcia kształtowanych wyrobów.

W pracy podjęto próbę wyjaśnienia przyczyn utraty spójności materiału w procesie kształtowania na zimno tub filtrów paliwa gazowego.

Częstość występowania zjawiska pęknięcia ścianki korpusu filtrów paliwa gazowego wynosi przypadku pierwszego dostawcy około 10–12%, a w przypadku drugiego 20 sztuk na 100 000 krążków.

**1. INTRODUCTION**

*Shaping of products from aluminum and its alloys poses many technological difficulties despite the fact that it has been commonly applied for a long time [1–12]. Various defects frequently appear in products shaped by cold plastic working.*

*Loss of cohesion or cracking of shaped products are among particularly deleterious defects.*

*This paper attempts to explain the causes of loss of material cohesion during cold-working of the fuel gas filter housing.*

*The frequency of fuel gas filter housing cracking amounts to approx. 10–12% in the case of the first Supplier, and approx. 20 pcs. per 100,000 disks in the case of the second Supplier.*

Problem pęknięcia ścianki korpusu jest ważny nie tylko dla procesu jego wytwarzania ale także dla eksploatacji filtrów gazowych.

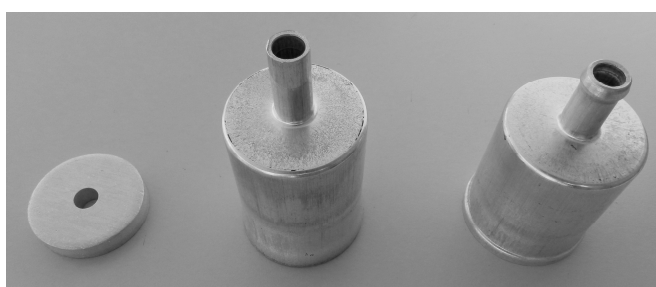
Przeprowadzenie badań powinno umożliwić wskazanie producentom materiału wyjściowego (krążków aluminiowych) do wytwarzania korpusów, jaka powinna być struktura materiału, aby wyeliminować zjawisko pęknięcia ścianki korpusu w procesie plastycznego kształtowania na zimno.

Materiał wyjściowy, półwyrob i gotowy filtr paliwa gazowego pokazano na rys. 1, a wypraski z wadami na rys. 2.

*The problem of housing wall cracking is important not only to the process of manufacturing but also to exploitation of gas filters.*

*This research should indicate a manufacturer the proper initial material microstructure of the alloy in the form of aluminum disks, in order to eliminate housing wall cracking during the cold plastic working.*

*The initial disk, semi-finished product, and ready fuel gas filter are shown in Fig. 1, and defected moldings are presented in Fig. 2.*



Rys. 1. Materiał wyjściowy, półwyrob i gotowa tuba filtra paliwa gazowego

*Fig. 1. Initial disc, semi-finished product, and ready fuel gas filter housing*



Rys. 2. Pęknięcia półwyrobów wyprasek w miejscu poszerzenia średnicy korpusu

*Fig. 2. Cracking in molding semi-finished products in the area where the housing diameter increased*

## 2. BADANY MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań są wypraski z aluminium 1070A wg normy PN-EN 573-3 (A0 wg PN-79/H-82160) o czystości 99,7% wykonane metodą wyciskania złożonego na zimno, które podczas procesu uległy pęknięciu (rys. 2). Materiałem wyjściowym były krążki wykonane z blachy o średnicy zewnętrznej  $\phi=43,8$  mm z otworem o średnicy  $\phi=8,2$  mm i grubości 8,7 mm (rys. 1).

## 2. MATERIAL AND METHODS

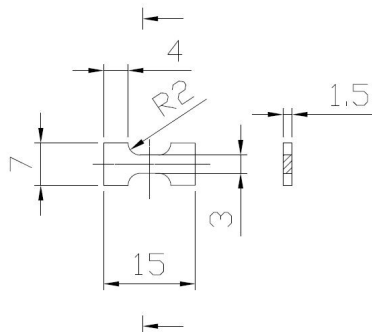
*In this study moldings made of 1070A aluminum according to PN-EN 573-3 Standard (A0 according to PN-79/H-82160) with a purity of 99.7% Al were investigated. Moldings cracked during combined cold extrusion (Fig. 2). Disks were obtained from of sheet with exterior diameter  $\phi=43.8$  mm with an opening of diameter  $\phi=8.2$  mm and thickness of 8.7 mm (Fig. 1) were the starting material.*

Badania przeprowadzono na materiale wyjściowym (krążkach), półwyrobie, gotowym wyrobie bez i z wadami (rys. 1 i 2) filtrów paliwa gazowego zostały przeprowadzone badania w celu określenia własności mechanicznych, mikrostruktury oraz naprężeń własnych.

Przeprowadzone badania obejmowały:

- a) badania własności mechanicznych:
  - pomiar twardości,
  - statyczną próbę rozciągania,
  - statyczną próbę ściskania,
  - określenie współczynnika tarcia.
- b) badania struktury:
  - mikroskopię świetlną,
  - pomiar naprężeń własnych metodą  $\sin^2\Psi$ .

Własności mechaniczne wyznaczono w statycznej próbie rozciągania na próbkach wyciętych z krążków aluminiowych oraz z tub (półwyrób, wyrób gotowy i wypraski pęknięte) na Microtesterze MT 5000HC. Kształt i wymiary próbek do badań wytrzymałościowych przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Próbką zastosowaną w statycznej próbie rozciągania

Fig. 3. Specimen applied in static tensile test

Statyczną próbę ściskania wykonano na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej Instron 4483 na próbkach walcowych o wymiarach  $d_0=h_0=8\text{ mm}$  (materiał wyjściowy).

Współczynnik tarcia określono metodą spęczania płaskiego pierścienia między płaskimi matrycami (rys. 4). Próbkę pierścieniową stosowaną w tej metodzie powinny mieć średnicę zewnętrzną równą  $D=20\text{ mm}$ , średnicę wewnętrzną  $d=10\text{ mm}$  oraz wysokość  $h_0=6,5\text{ mm}$ . Próbę przeprowadzono w warunkach tarcia technicznego.

*Studies were conducted on the initial disk, semi-finished product, defected and non-defected ready housings (Fig. 1 and 2) in order to determine mechanical properties, microstructure, and internal stresses.*

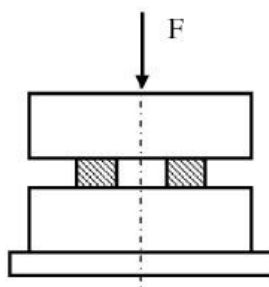
*The following tests were performed:*

- a) *mechanical properties:*
  - *hardness measurement,*
  - *static tensile test,*
  - *static compression test,*
  - *determination of friction coefficient,*
- b) *microstructure and internal stresses*
  - *light microscopy,*
  - *measurement of internal stresses using the  $\sin^2\Psi$  method.*

*Mechanical properties were determined in a static tensile test on specimens cut out from aluminum disks and tubes (semi-finished product, finished product, and cracked moldings), using MT 5000HC Microtester. The shape and dimensions of specimens for tensile test are presented in Fig. 3.*

*The static compression test was performed using universal Instron 4483 strength tester and cylindrical specimens of dimension  $d_0=h_0=8\text{ mm}$  (initial material).*

*The friction coefficient was determined using the method of upset forging of a flat ring between flat dies (Fig. 4). Ring samples used in this method should have an outer diameter of  $D=20\text{ mm}$ , an inner diameter of  $d=10\text{ mm}$ , and height of  $h_0=6.5\text{ mm}$ . The test was conducted under technical friction conditions.*



Rys. 4. Schemat spęczania pierścienia

Fig. 4. Scheme of ring upset forging

Pomiary mikrotwardości wyznaczono za pomocą twardościomierza Micromet 2104 firmy Witz-Buehler.

Obserwacje mikrostruktury próbek wykonano przy użyciu mikroskopu świetlnego ECLIPSE 100 firmy Nikon, wykorzystując techniki jasnego i ciemnego pola. Obserwacje struktury przeprowadzono w zakresie powiększeń od 100–500x.

Mikrostrukturę badanych próbek ujawniono na zglądach metalograficznych metodą trawienia elektrolitycznego za pomocą urządzenia PoliMat 2 firmy Buehler. Ziarno w aluminium ujawniano za pomocą odczynnika Barkera. Metoda ujawniania ziarna odczynnikiem Barkera polega na utlenianiu anodowym zglądu metalograficznego w odczynniku o temperaturze pokojowej. Czas trawienia – wg obserwacji wyniku.

Pomiaru naprężeń własnych rentgenowską metodą  $\sin^2\psi$  dokonano za pomocą aparatu rentgenowskiego Kristalloflex 4 z goniometrem EG 4/201.

*Microhardness measurements were conducted using a Micromet 2104 hardness tester.*

*Observations of the microstructure were conducted using an ECLIPSE 100 light microscope, using the dark and light field techniques. Observations of microstructure were conducted within a magnification range of 100–500x.*

*The microstructure of tested specimens was revealed on metallographic specimens using the electrolytic etching by means of the PoliMat 2 device. Grains in aluminum alloy were revealed using Barker's reagent. The grain reveal method using Barker's reagent is based on anodic oxidation of a metallographic specimen at room temperature. Etching time applied – until the etching effect was noticed.*

*Measurement of internal stresses using the  $\sin^2\psi$  X-ray diffraction method was conducted by means of a Kristalloflex 4 X-ray diffractometer equipped with EG 4/201 type goniometer.*

### 3. WYNIKI BADAŃ

#### 3.1. Badania materiału wyjściowego (krążka)

##### 3.1.1. Mikroskopia świetlna

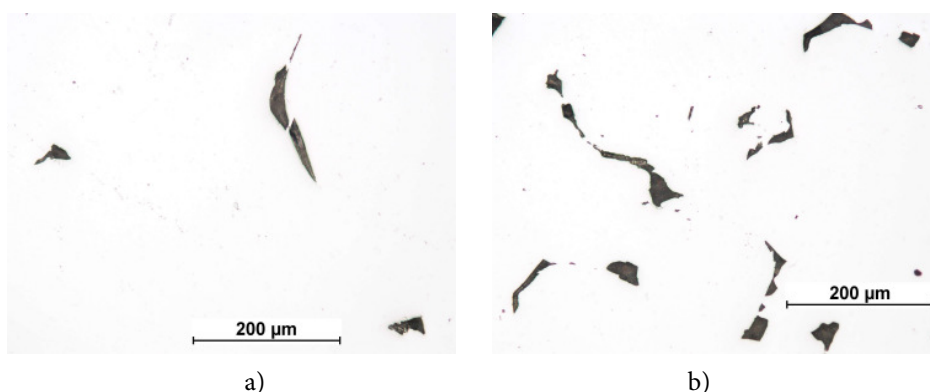
Za pomocą mikroskopu świetlnego ECLIPSE 100 firmy Nikon obserwowano próbki w stanie nietrawionym i trawionym. Obserwacje przeprowadzono na powierzchni równoległej do kierunku wyciskania i na przekroju poprzecznym w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku wyciskania, a wyniki przedstawiono na rys. 5 i 6.

### 3. RESULTS

#### 3.1. Initial material (disk)

##### 3.1.1. Light microscopy

*Specimens were observed in etched and non-etched condition using an ECLIPSE 100 light microscope. Observations were conducted on the surface parallel to the direction of extrusion and on the cross-section on the plane perpendicular to the direction of extrusion. Results are presented in Fig. 5 and 6.*

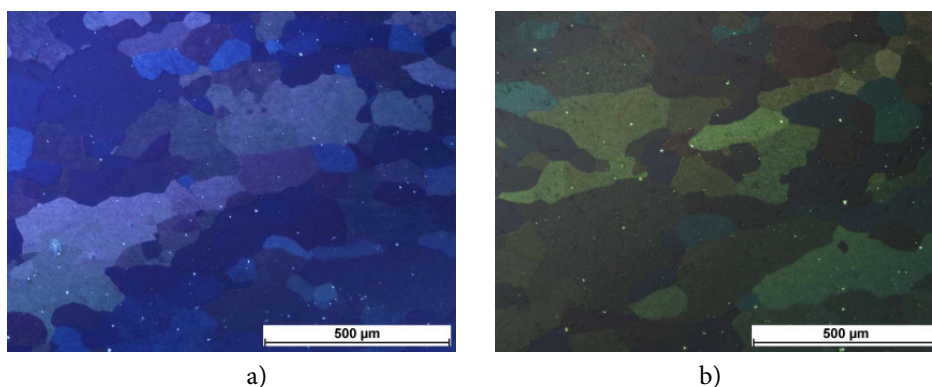


Rys. 5. Struktura materiału wyjściowego w stanie nietrawionym: a) dostawca I, b) dostawca II

*Fig. 5. Microstructure of initial material in non-etched condition: a) Supplier I, b) Supplier II*

W strukturze badanych materiałów widoczne są pustki. Wyraźnie widać większe zagęszczenie pustek w materiale wyjściowym producenta drugiego (rys. 5).

*Voids are visible in the microstructure of tested materials. A greater concentration of voids can be observed in the starting material from the second Supplier (Fig. 5).*



Rys. 6. Mikrostruktura na zglądach trawionych materiału wyjściowego: a) producent pierwszy, b) producent drugi

*Fig. 6. Microstructure on etched metallographic specimens of the initial material: a) first Supplier, b) second Supplier*

Mikrostruktura na zglądach trawionych składa się głównie z roztworu stałego  $\alpha$  i jest to czyste aluminium o zróżnicowanej wielkości ziarna (rys. 6).

*The microstructure of etched specimens was formed by the  $\alpha$  solid solution grains of varying grain size (Fig. 6).*

### 3.1.2. Pomiar twardości

Pomiary twardości Vickersa wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 6507-1:2007 na przekroju poprzecznym materiału wyjściowego. Pomiary wykonano przy obciążeniu wglębniaka siłą 0,4903 N przez 15 sekund. Odległość między punktami pomiarowymi wynosiła około 5 mm. Wyniki pomiarów twardości wykonanych na materiale wyjściowym (krążek) przedstawiono są w tab. 1.

### 3.1.2. Hardness measurement

*Vickers hardness measurements were conducted according to standard PN-EN ISO 6507-1:2007 on the cross-sections of the initial material. Measurements were conducted using indenter load of 0.4903 N for 15 seconds. The distance between measurement areas was approx. 5 mm. The results of hardness measurements conducted on the initial material (disk) are presented in Tab. 1.*

Tab.1. Twardości Vickersa materiału wyjściowego

Tab. 1. Vickers hardness of initial material

Dostawca / Supplier	Nr próbki / Sample No.	HV0,05 / HV0.05	HV0,05 wartość średnia / HV0.05 av.
pierwszy / first	1	18,0	25,4
	2	26,3	
	3	25,3	
	4	24,5	
	5	26,3	
drugi / second	1	27,4	26,1
	2	25,8	
	3	26,1	
	4	23,3	
	5	28,0	

Badania twardości na przekroju poprzecznym próbek materiału wyjściowego wykazały, iż twardość materiału dostawcy pierwszego nie różni się wiele od twardości materiału dostawcy drugiego.

*Hardness of initial materials from both Suppliers was similar.*

### 3.1.3. Statyczna próba rozciągania

Próbki z materiału wyjściowego dostawcy pierwszego i drugiego wycięto w taki sposób, aby oś rozciągania była równoległa i prostopadła do kierunku wyciskania.

W tab. 2 zestawiono wyniki statycznej próby rozciągania próbek z materiału wyjściowego.

### 3.1.3. Static tensile test

*Starting material specimens from the first and second Supplier were cut out in such a way so that the axis of tension was parallel and perpendicular to the direction of extrusion.*

*Tab. 2 contains the results of the static tensile test of initial material.*

Tab. 2. Wyniki statycznej próby rozciągania z materiału wyjściowego

Tab. 2. Results of static tensile test of starting material

Dostawca / Supplier	Kierunek pobrania próbki Specimen axis orientation to extrusion direction	$A_{p\text{sr}} / A_p$ av. %	$R_{m\text{sr}} / R_m$ av. MPa
pierwszy / first	prostopadły / perpendicular	60,59±2,38	61,50±0,97
	równoległy / parallel	62,58±2,82	65,4±0,19
Drugi / second	prostopadły / perpendicular	48,37±0,96	62,58±2,39
	równoległy / parallel	52,82±3,09	67,0±1,05

Statyczna próba rozciągania wykazała, że wytrzymałość na rozciąganie, niezależnie od dostawcy, ma zbliżone wartości. Różnica wynosi około 4±1,23%. Wyznaczone wydłużenie względne pokazuje różnicę we własnościach plastycznych materiału wyjściowego w zależności od dostawcy. Wynosi ona około 24±7,44%.

*The static tensile test showed that tensile strength was similar, regardless of the supplier. The difference amounts to approx. 4±1.23%. Determined relative elongation showed a difference in the plastic properties of the initial material. This difference was approx. 24±7.44%.*

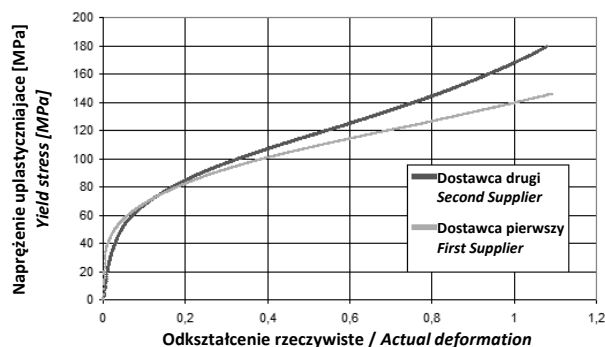
### 3.1.4. Statyczna próba ściskania

Próbie ściskania poddano próbki z materiału wyjściowego, które wycięto w taki sposób, że oś ściskania była równoległa do kierunku wyciskania.

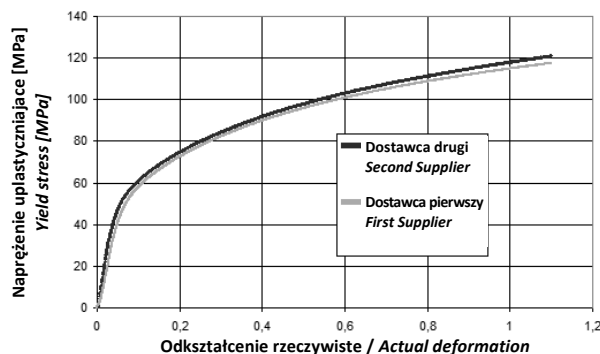
### 3.1.4. Static compression test

*Starting material specimens were cut out in such a way that the compression axis was parallel to the direction of extrusion.*

Próbki od dostawcy pierwszego i drugiego były spęczane warunkach bez smaru i z użyciem stearynianu cynku, a ich wyniki przedstawiono graficznie na rys. 7 i 8.



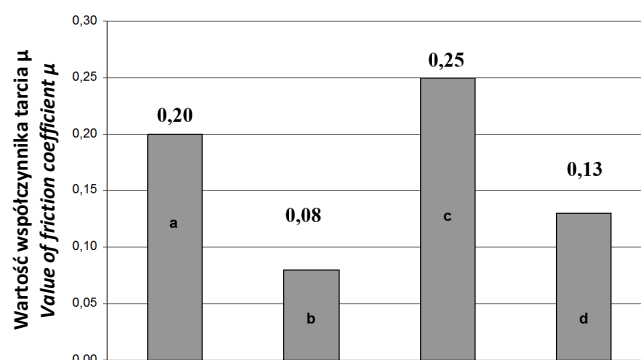
Rys. 7. Krzywe ściskania próbek spęczanych bez smaru  
Fig. 7. Compression curves of specimens upset forged without lubricant



Rys.8. Krzywe ściskania próbek spęczanych z użyciem stearynianu cynku  
Fig. 8. Compression curves of specimens upset forged using zinc stearate

Badania przeprowadzone w warunkach tarcia technicznego suchego (bez smaru) pokazują, że większą skłonność do zacierania posiada materiał dostawcy drugiego (rys. 7 i 9). Po zastosowaniu smarowania stearynianem cynku uzyskano znacznie korzystniejsze wyniki (rys. 8 i 9). Świadczy to o skuteczności użytego smaru. Po zastosowaniu smaru uzyskuje się także znacznie mniejsze naprężenia uplastyczniające podczas odkształcenia.

Tests conducted under conditions of dry technical friction (without lubricant) showed that the material from the second Supplier was more prone to abrasion (Fig. 7 and 9). After the application of the lubricant, namely zinc stearate, much more favorable results were obtained (Fig. 8 and 9). This was the clear evidence that lubricant used was effective. After lubricant was applied, much lower yield stress was involved during deformation.



Rys. 9. Współczynnik tarcia w warunkach tarcia technicznego suchego (a) i (c) oraz smarowania (b) i (d): a, b – dostawca pierwszy; c, d – dostawca drugi  
Fig. 9. Friction coefficient under conditions of dry technical friction (a) and (c) and lubrication (b) and (d): a, b – first Supplier; c, d – second Supplier

Badania przeprowadzone w warunkach tarcia technicznego suchego (bez smaru) poka-

Tests conducted under conditions of dry technical friction (without lubricant) showed that



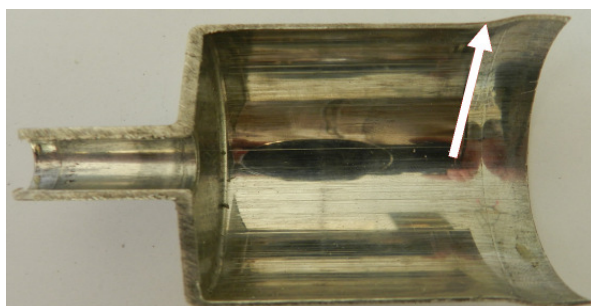
zują, że większą skłonność do zacierania posiada materiał dostawcy drugiego (rys. 7 i 9).

Po zastosowaniu smarowania stearynianem cynku uzyskano znacznie korzystniejsze wyniki (rys. 8 i 9). Świadczy to o skuteczności użytego smaru. Po zastosowaniu smaru uzyskuje się także znacznie mniejsze naprężenia uplastyczniające podczas odkształcenia.

### 3.2. Badania wyprasek

#### 3.2.1. Mikroskopia świetlna

Za pomocą mikroskopu świetlnego ECLIPSE 100 firmy Nikon obserwowano próbki w stanie trawionym. Obserwacje przeprowadzono na powierzchni z przekroju wzdłużnego i z powierzchni górnej próbki. Miejsca obserwacji dobrego półwyrobu od pierwszego producenta pokazano na rys. 10.



Rys. 10. Przekrój tuby z zaznaczonym miejscem obserwacji – półwyrób dobry (dostawca pierwszy)

Fig. 10. Cross-section of the tube (housing) with marked area of observation – non-defected semi-finished product (first Supplier)

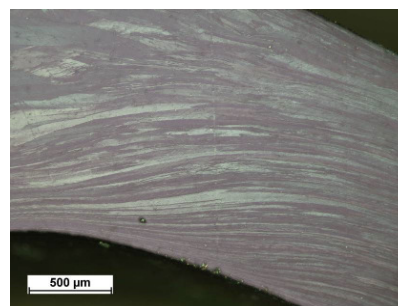
the material from the second Supplier was more prone to abrasion (Fig. 7 and 9).

After the application of the lubricant, namely zinc stearate, much more favorable results were obtained (Fig. 8 and 9). This was the clear evidence that lubricant used was effective. After lubricant was applied, much lower yield stress was involved during deformation.

### 3.2. Moldings

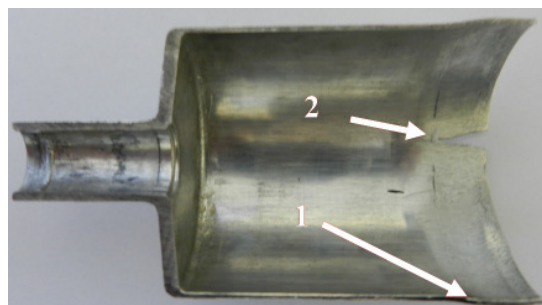
#### 3.2.1. Light microscopy

Observations were conducted on the longitudinal section and on the top surface of the molding. Areas of observation of non-defected semi-finished product from the first Supplier are shown in Fig. 10.



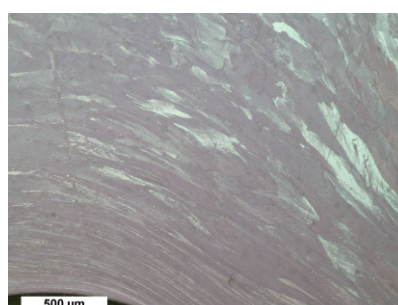
Rys. 11. Mikrostruktura półwyrobu dobrego na zglądzie trawionym (dostawca pierwszy)

Fig. 11. Microstructure of non-defected semi-finished product, etched condition (first Supplier)



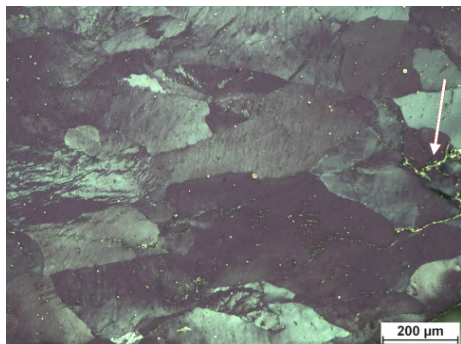
Rys. 12. Miejsce obserwacji półwyrobu uszkodzonego na przekroju tuby (dostawca pierwszy)

Fig. 12. Area of observation of defected semi-finished product on tube cross-section (first Supplier)



Rys. 13. Mikrostruktura półwyrobu uszkodzonego na zglądzie trawionym: miejsce (1) (dostawca pierwszy)

Fig. 13. Microstructure of defected semi-finished product, etched condition: area (1) (first Supplier)



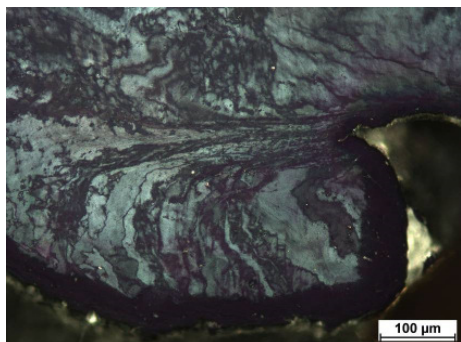
Rys. 14. Mikrostruktura półwyrobu uszkodzonego na zglądzie trawionym: miejsce (2); struktura na końcu pęknięcia (dostawca pierwszy)

Fig. 14. Microstructure of defected semi-finished product, etched condition: area (2); microstructure at the end of the crack (first Supplier)



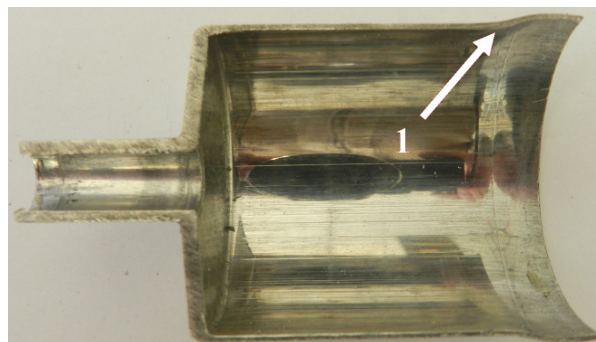
Rys. 15. Miejsce obserwacji pęknięcia (dostawca pierwszy)

Fig. 15. Area of crack observation (first Supplier)



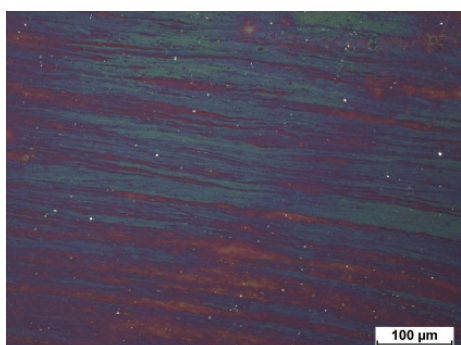
Rys. 16. Mikrostruktura półwyrobu uszkodzonego na zglądzie trawionym z powierzchni górnej (dostawca pierwszy); struktura na końcu pęknięcia (1)

Fig. 16. Microstructure of defected semi-finished product on the top surface (first Supplier); microstructure at the end of the crack (1)



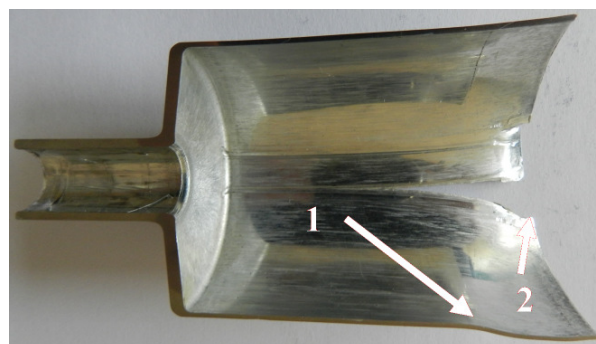
Rys. 17. Miejsce obserwacji półwyrobu dobrego na przekroju tuby (dostawca drugi)

Fig. 17. Area of observation of non-defected semi-finished product on tube cross-section (second Supplier)



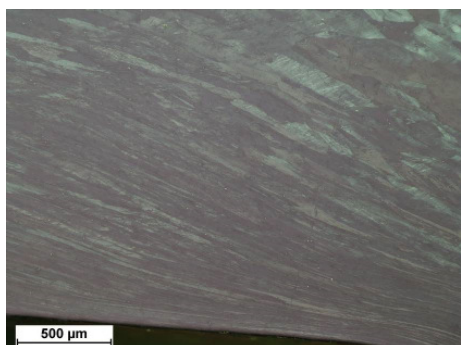
Rys. 18. Mikrostruktura półwyrobu dobrego na zglądzie trawionym: miejsce (1) (dostawca drugi)

Fig. 18. Microstructure of non-defected semi-finished product, etched condition: area (1) (second Supplier)



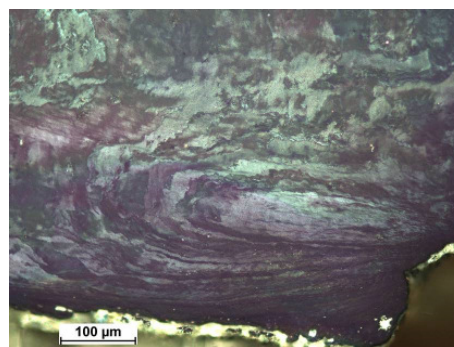
Rys. 19. Miejsce obserwacji półwyrobu uszkodzonego na przekroju tuby (dostawca drugi)

Fig. 19. Area of observation of defected semi-finished product on tube cross-section (second Supplier)



Rys. 20. Mikrostruktura półwyrobu uszkodzonego na zglądzie trawionym: miejsce (1) (dostawca drugi)

Fig. 20. Microstructure of defected semi-finished product, etched condition: area (1) (second supplier)



Rys. 21. Mikrostruktura półwyrobu uszkodzonego na zglądzie trawionym z powierzchni górnej (dostawca drugi); struktura na końcu pęknięcia (2)

Fig. 21. Microstructure of defected semi-finished product on the top surface, etched condition (second Supplier); microstructure at end of the crack (2)

Mikrostruktury dobrych półwyrobów od dostawcy pierwszego i drugiego różnią się nieznacznie. Widoczne są silnie wydłużone ziarna o różnym stopniu odkształcenia (rys. 11 i 18). Większe różnice można zaobserwować w półwyrobach uszkodzonych. Analizując próbki dostawcy pierwszego zauważyć można silnie odkształcone ziarna o różnej wielkości (rys. 13). Na próbce w miejscu pęknięcia (miejsce 2, rys. 12) widoczne są duże ziarna o niewielkim stopniu odkształcenia (rys. 14), natomiast w miejscu uszkodzenia 1 (rys. 15) widać bardzo silnie odkształcone ziarno (rys. 16). W wypadku dostawcy drugiego struktura ma podobny charakter (rys. 20 i 21).

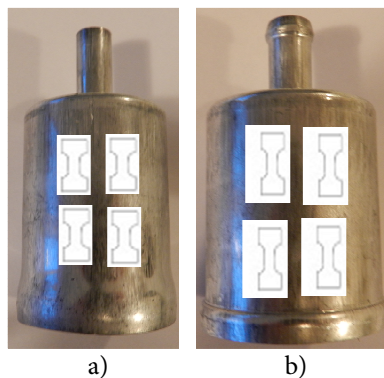
### 3.2.2. Statyczna próba rozciągania

Miejsce pobrania próbek z półwyrobów pokazano na rys. 22a, a z gotowych wyrobów na rys. 22b. Próbki z półwyrobu dostawcy pierwszego i dostawcy drugiego wycięto równoległe do kierunku wyciskania (rys. 22a). Próbki z wyrobu gotowego od dostawcy pierwszego i dostawcy drugiego wycięto równoległe do kierunku wyciskania (rys. 22b). Wyniki ze statycznej próby rozciągania przedstawiono w tab. 3.

The microstructures of non-defected semi-finished products from the First and Second supplier differ a slightly. Highly elongated grains with various degrees of deformation were observed (Fig.11 and 18). Greater differences were noticed in defected semi-finished products. When analyzing specimens from the first Supplier, one can observe highly deformed grains of varying size (Fig. 13). Coarse grains with a small degree of deformation (Fig. 14) were found in the sample at the area of the crack (area 2, Fig. 12), and a very highly deformed grain (Fig. 16) was observed in area 1 (area of damage). In the case of the second Supplier, the microstructure exhibited similar features (Fig. 20 and 21).

### 3.2.2. Static tensile test

The area of specimen collection from semi-finished products is shown in Fig. 22a, and from finished products in Fig. 22b. Specimens from the semi-finished and finished product of the first Supplier and second Supplier were cut out parallel to the direction of extrusion (Fig. 22a and 22b). Results of the static tensile test are presented in Tab. 3.



Rys. 22. Schemat pobrania próbek do badań wytrzymałościowych

Fig. 22. Scheme of specimen collection for tensile tests

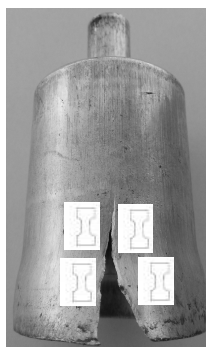
Tab. 3. Wyniki statycznej próby rozciągania z półwyrobów i wyrobów gotowych (korpusy filtrów gazowych)

Tab. 3. Results of the static tensile tests on semi-finished products and finished product (gas filter housings)

Dostawca / Supplier	Półwyroby / Semi-finished		Wyroby / Finished	
	$A_{p\dot{s}r} / A_p$ av. %	$R_{m\dot{s}r} / R_m$ av. MPa	$A_{p\dot{s}r} / A_p$ av. %	$R_{m\dot{s}r} / R_m$ av. MPa
pierwszy / first	17,35±0,24	135±3,10	12,57±0,20	132±1,76
drugi / second	12,31±0,17	143±1,01	8,97±1,49	142±1,43

Próbki z okolic miejsca uszkodzonego półwyrobu dostawcy pierwszego i dostawcy drugiego wycięto równoległe do kierunku wyciskania (rys. 23). Wyniki ze statycznej próby rozciągania przedstawiono w tab. 4.

Specimens from the damaged area of the semi-finished product, from both suppliers were cut out parallel to the direction of extrusion (Fig. 23). The results of the static tensile test are presented in Tab. 4.



Rys. 23. Schemat wycięcia próbek do badań wytrzymałościowych

Fig. 23. Scheme of cutting out specimens for tensile tests

Tab. 4. Wyniki statycznej próby rozciągania korpusu uszkodzonego

Tab. 4. Results of the static tensile test of damaged housing

Dostawca / Supplier	$A_{p\dot{s}r} / A_p$ av. %	$R_{m\dot{s}r} / R_m$ av. MPa
pierwszy / first	10,02±2,88	131±3,71
drugi / second	7,30±0,60	131±2,75

Statyczna próba rozciągania wykazała, że wytrzymałość na rozciąganie różni się nie wiele niezależnie od dostawcy, jednak wykonanych z materiałów od różnych dostawców.

Wyznaczone wydłużenie względne pokazuje różnicę we własnościach plastycznych pomiędzy dostawcami. Badania wydłużenia wykonane również w celu sprawdzenia, czy istnieje zależność pomiędzy wielkością wady (szerokość i głębokość pęknięcia) a wydłużeniem. Takiej zależności nie stwierdzono.

### 3.2.3. Pomiar naprężeń własnych metodą $\sin^2\Psi$

Pomiary przeprowadzono za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego Kristalloflex 4 firmy Siemens z goniometrem Eg 4/201. Zastosowano dyfraktometryczną metodę pomiaru naprężeń tzw. metodę  $\sin^2\psi$ . Pomiary kontrolne przeprowadzono na odprężonym proszku żelaza ARMCO.

Zapisy dyfrakcyjne wykonano, stosując:

- promieniowanie  $Cr_{K\alpha}$ ,
- napięcie lampy 40kV,
- natężenie 16 mA,
- zakres zapisów dyfrakcyjnych: 128°–131°, z krokiem 0,5° i czasem zliczania INT=30 s,
- zmiany kątów  $\psi=-39^\circ, -33^\circ, -27^\circ, 18^\circ, 0,0^\circ$ .

Otrzymane profile linii dyfrakcyjnych aluminium (311) wygładzono, odejmowano tło, składową  $\alpha_2$ , wyznaczano maksimum, z których liczono odległość międzypłaszczyznową  $d_{311}$  stanowiącą podstawę do obliczenia naprężeń.

Wyniki z pomiarów naprężeń własnych w warstwach wierzchnich korpusów filtrów gazowych wyciskanych przeciwbieżnie przedstawiono w tab. 5–8.

The static tensile test showed that tensile strength did not differ much regardless of the supplier.

Determined relative elongation showed a difference in plastic properties between materials furnished by the suppliers. Tensile tests were also conducted to check whether there was a dependence between defect size (crack width and depth) and elongation. No such dependence was however determined.

### 3.2.3. Measurement of internal stresses using the $\sin^2\Psi$ method

Measurements were conducted using a Kristalloflex 4 X-ray diffractometer equipped with an Eg 4/201 goniometer. So-called  $\sin^2\psi$  method was applied. Control measurements were conducted on stress-relieved ARMCO iron powder.

Diffraction conditions were as follows:

- radiation  $Cr_{K\alpha}$
- tube voltage 40 kV,
- intensity 16 mA,
- range of diffraction readings: 128°–131°, with step 0.5° and counting time INT=30 s,
- angle steps  $\psi=-39^\circ, -33^\circ, -27^\circ, 18^\circ, 0,0^\circ$ .

Diffraction line profiles obtained for aluminium (311) were smoothed, background noise and component  $\alpha_2$  were removed, and the maximum was calculated, from which inter-plane distance  $d_{311}$  was determined, and this parameter constituted the basis for stress calculations.

Results of measurements of internal stresses in the near-surface layers of gas filter housings extruded in the reverse direction are presented in Tab.5–8.

Tab. 5. Naprężenia własne wzdłużne w warstwach powierzchniowych badanych korpusów (półwyrob dobry)

Tab. 5. Internal longitudinal stresses in near-surface layers of tested housings (non-defected semi-finished product)

Charakterystyka wyrobu Area and stress	Kąt położenia punktu pomiarowego wzdłuż korpusu filtra gazowego Angle of the measured area along the gas filter housing [°]	Naprężenie wzdłużne Longitudinal stress $\sigma$ [MPa]
Materiał Material	120	+106
	240	-28
	360	+102
materiał producenta pierwszego / first Supplier		

Charakterystyka wyrobu <i>Area and stress</i>	Kąt położenia punktu pomiarowego wzdłuż korpusu filtra gazowego <i>Angle of the measured area along the gas filter housing</i> [°]	Naprężenie wzdłużne <i>Longitudinal stress</i> $\sigma$ [MPa]
Materiał <i>Material</i>	120	+107
	240	+101
	360	-69

Tab. 6. Naprężenia własne obwodowe w warstwach powierzchniowych badanych korpusów (półwyrob dobry)

Tab. 6. Internal circumferential stresses in near-surface layers of tested housings (non-defected semi-finished product)

Charakterystyka wyrobu <i>Area and stress</i>	Kąt położenia punktu pomiarowego na obwodzie korpusu filtra gazowego <i>Angle of the measured area on the</i> <i>circumference of the gas filter housing</i> [°]	Naprężenie obwodowe <i>Circumferential stress</i> $\sigma$ [MPa]
Materiał <i>Material</i>	120	+126
	240	-14
	360	+132
materiał producenta pierwszego / <i>first Supplier</i>	120	+151
	240	+132
	360	-9

Tab. 7. Naprężenia własne wzdłużne w warstwach powierzchniowych badanych korpusów (półwyrob uszkodzony)

Tab. 7. Internal longitudinal stresses in near-surface layers of tested housings (damaged semi-finished product)

Charakterystyka wyrobu <i>Area and stress</i>	Kąt położenia punktu pomiarowego wzdłuż korpusu filtra gazowego <i>Angle of the measured area along the gas filter housing</i> [°]	Naprężenie wzdłużne <i>Longitudinal stress</i> $\sigma$ [MPa]
półwyrob uszkodzony; materiał producenta pierwszego <i>damaged semi-finished product; first Supplier</i>	120	+204
	240	+209
	360	+206
półwyrob uszkodzony; materiał producenta drugiego <i>damaged semi-finished product; second Supplier</i>	120	+213
	240	+217
	360	+213

Tab. 8. Naprężenia własne obwodowe w warstwach powierzchniowych badanych korpusów (półwyrob uszkodzony)

Tab. 8. Internal circumferential stresses in near-surface layers of tested housings (damaged semi-finished product)

Charakterystyka wyrobu <i>Area and stress</i>	Kąt położenia punktu pomiarowego na obwodzie korpusu filtra gazowego <i>Angle of the measured area on the circumference of the</i> <i>gas filter housing</i> [°]	Naprężenie wzdłużne <i>Longitudinal stress</i> $\sigma$ [MPa]
półwyrob uszkodzony; materiał producenta pierwszego <i>damaged semi-finished product; first Supplier</i>	120	+268
	240	+244
	360	+252
półwyrob uszkodzony; materiał producenta drugiego <i>damaged semi-finished product; second Supplier</i>	120	+227
	240	+219
	360	+233

Pomiary naprężeń własnych wykonano na półwyrobach dobrych i uszkodzonych. Celem było uzyskanie odpowiedzi dotyczącej rzeczywistego stanu rozciągających naprężeń własnych. Pomiary potwierdziły występowanie roz-

*Measurements of internal stresses were conducted on non-defected and damaged semi-finished products. The goal was to get an answer pertaining to the actual state of tensile internal stresses. Measurements confirmed the pre-*

ciągających naprężeń obwodowych na poszerzeniu korpusu filtra paliwa gazowego (tab. 5–8), które powstają w wyniku niejednorodnej deformacji plastycznej. Najwyższe wartości naprężeń rozciągających uzyskano w półwyrobach uszkodzonych (tab. 7 i 8). Stan rozciągających naprężeń obwodowych należy uznać za ważną informację materiałową. Naprężenia własne mają wpływ na strukturę i twardość, a co zatem idzie, na pękanie wyprasek.

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie przedstawionych badań dotyczących wyciskania złożonego korpusów filtrów paliwa gazowego można sformułować następujące wnioski:

- przeprowadzona analiza powstawania pęknięć w materiałach dostawcy pierwszego i drugiego nie wykazała jednoznacznie, które właściwości materiałowe są odpowiedzialne za naruszenie spójności;
- wytrzymałość na rozciąganie (tab. 2) ma podobną wartość nie zależnie od dostawcy materiału wyjściowego;
- niewielkie różnice w średniej wartości wytrzymałości na rozciąganie stwierdzono w półwyrobach i wyrobach gotowych (tab. 3);
- nie stwierdzono różnic w wytrzymałości na rozciąganie dla korpusów uszkodzonych (tab. 4);
- istnieje znacząca różnica we własnościach plastycznych – tab. 2–4 (wartości wydłużenia dostawcy drugiego są mniejsze średnio około  $24\% \pm 7,44$  w stosunku do dostawcy pierwszego);
- nie stwierdzono zależności pomiędzy wielkością wady (szerokość i głębokość pęknięcia) a wydłużeniem;
- gorsze własności plastyczne materiału dostawcy drugiego mogą być przyczyną naruszenia spójności i powstawania pęknięć;
- z przeprowadzonych badań tarcia technicznego suchego oraz z zastosowaniem smaru (stearynian cynku), jak widać z rys.

*sence of tensile circumferential stresses at the point of fuel gas filter housing broadening (Tab. 5–8), which arose due to non-uniform plastic deformation. The highest tensile stresses were measured in damaged semi-finished products (Tab. 7 and 8). The state of tensile circumferential stresses is to be considered as important information on the material. Internal stresses have a great impact on microstructure and hardness, and thus, on tendency to molding cracking.*

#### 4. SUMMARY

*Basing on the results concerning combined extrusion of fuel gas filter housings, the following conclusions can be formulated:*

- *crack formation analysis in materials from both suppliers did not provide an unequivocal indication of which material properties are responsible for loss of cohesion;*
- *tensile strength (Tab. 2) was similar, regardless of the Supplier of initial material;*
- *slight differences in average tensile strength were observed in semi-finished products and finished products (Tab. 3);*
- *no differences in the tensile strength of damaged housings were determined (Tab. 4);*
- *there was a significant difference in plastic properties – Tab. 2–4 (elongation of material from the second Supplier were lower by approx.  $24\% \pm 7.44$  on average compared to material from the first Supplier);*
- *no dependence was found between defect size (crack width and depth) and elongation;*
- *inferior plastic properties of material from the second Supplier may be the cause of loss of cohesion and crack formation,*
- *tests under conditions of dry technical friction and with the application of lubricant (zinc stearate) showed that mate-*

- 8 i 10 większą skłonność do zacierania posiada materiał dostawcy drugiego;
- brak smarowania w strefie styku materiał-narzędzie może prowadzić do nierówno-miernego płynięcia materiału warstwie wierzchniej i być przyczyną pęknięcia wyprasek,
- w strukturze materiałów wyjściowych zaobserwowano mikropustki (rys. 5), co może prowadzić to do powstania pęknięć.

*rial from the second Supplier exhibited a greater tendency for abrasion, as seen in Fig. 8 and 10;*

- *lack of lubrication in the material-tool contact zone may lead to non-uniform material flow in the near-surface layer and cause cracking of moldings;*
- *micro-voids were observed in the micro-structure of initial disks (Fig. 5), which may lead to crack formation.*

## LITERATURA

- [1] Avitzur Boaz 1968. „Analysis of central bursting defects in extrusion and wire drawing”. *Trans. ASME, Series B* 90 (1) : 79-91
- [2] Cockcroft M.G., Latham D.J. 1968. *J. Inst Metals* 96 : 2444-2477
- [3] Bridgman Percy Williams 1964. *Studies in large plastic and fracture*. Cambridge: Harvard University Press
- [4] Chitkara N.R., Adeyemi M.B. 1977 „Working pressure and deformation modes in forward extrusion of I and T shaped sections from square slugs”. In *Proceedings of the 18<sup>th</sup> International MTDRConference, 1977*, 289-301. London: Imperial College of Science.
- [5] Goswami R.K., Anandani R.C., Sikand R., Malik I.A., Gupta A.K. 1999 „Effects of extrusion parameters on mechanical properties of 2124 Al-SiCp stir cast MMCs”. *Mater. Trans. JIM* 40 (3) : 254-257.
- [6] Korbek Andrzej, Richert Maria, Richert Jan 1981 „Wpływ dużych odkształceń na rozwój pasm ścinania w aluminium”. *Archiwum Hutnictwa*, 26 (3) : 449-461.
- [7] Onuh S.O., Ekoja M., Adeyemi M.B. 2003 „Effects of die geometry and extrusion speed on the cold extrusion of aluminium and lead alloys”. *Journal of Materials Processing Technology* 132 : 274-285.
- [8] Pacanowski Jarosław, Zasadzinski Józef 1998 „The effect of selected parameters of aluminium extrusion on temperature changes in the die system”. *Arch. Metall.* 43 (4) : 389-398.
- [9] Peng Zhonggui, Sheppard Terry 2004 „Study of surface cracking during extrusion of aluminium alloy AA2014”, *Materials Science and Technology* 20 (Sept.) : 1179- 1191.
- [9] Piwnik Jan 1991 „Mechanika procesów wyciskania metali”. *Politechnika Białostocka, Rozprawy naukowe* 6.
- [10] Piwnik Jan 2010 *Mechanika plastycznego płynięcia w zagadnieniach wyciskania metali* Białystok: Wyższa Szkoła Ekonomiczna.
- [11] Schmoeckel Dieter, Schlotheim Gerold Frhr von, Wansel A. 1999 „Evaluation of the cold extrusion production process” In *Proceedings of the First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 1999*, Chapter 186, 414-419.

## LITERATURA

- [1] Avitzur Boaz 1968. „Analysis of central bursting defects in extrusion and wire drawing”. *Trans. ASME, Series B* 90 (1) : 79-91
- [2] Cockcroft M.G., Latham D.J. 1968. *J. Inst Metals* 96 : 2444-2477
- [3] Bridgman Percy Williams 1964. *Studies in large plastic and fracture*. Cambridge: Harvard University Press
- [4] Chitkara N.R., Adeyemi M.B. 1977 „Working pressure and deformation modes in forward extrusion of I and T shaped sections from square slugs”. In *Proceedings of the 18<sup>th</sup> International MTDRConference, 1977*, 289-301. London: Imperial College of Science.
- [5] Goswami R.K., Anandani R.C., Sikand R., Malik I.A., Gupta A.K. 1999 „Effects of extrusion parameters on mechanical properties of 2124 Al-SiCp stir cast MMCs”. *Mater. Trans. JIM* 40 (3) : 254-257.
- [6] Korbek Andrzej, Richert Maria, Richert Jan 1981 „Wpływ dużych odkształceń na rozwój pasm ścinania w aluminium”. *Archiwum Hutnictwa*, 26 (3) : 449-461.
- [7] Onuh S.O., Ekoja M., Adeyemi M.B. 2003 „Effects of die geometry and extrusion speed on the cold extrusion of aluminium and lead alloys”. *Journal of Materials Processing Technology* 132 : 274-285.
- [8] Pacanowski Jarosław, Zasadzinski Józef 1998 „The effect of selected parameters of aluminium extrusion on temperature changes in the die system”. *Arch. Metall.* 43 (4) : 389-398.
- [9] Peng Zhonggui, Sheppard Terry 2004 „Study of surface cracking during extrusion of aluminium alloy AA2014”, *Materials Science and Technology* 20 (Sept.) : 1179- 1191.
- [9] Piwnik Jan 1991 „Mechanika procesów wyciskania metali”. *Politechnika Białostocka, Rozprawy naukowe* 6.
- [10] Piwnik Jan 2010 *Mechanika plastycznego płynięcia w zagadnieniach wyciskania metali* Białystok: Wyższa Szkoła Ekonomiczna.
- [11] Schmoeckel Dieter, Schlotheim Gerold Frhr von, Wansel A. 1999 „Evaluation of the cold extrusion production process” In *Proceedings of the First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 1999*, Chapter 186, 414-419.