

František GREŠKOVIČ  
Ludmila DULEBOVÁ  
Branislav DULEBA  
Aneta KRZYŻAK

## CRITERIA OF MAINTENANCE FOR ASSESSING THE SUITABILITY OF ALUMINUM ALLOYS FOR THE PRODUCTION OF INTERCHANGEABLE PARTS INJECTION MOLD

### EKSPLLOATACYJNE KRYTERIA OCENY PRZYDATNOŚCI STOPÓW ALUMINIUM DO PRODUKCJI WYMIENNYCH CZĘŚCI FORM WTRYSKOWYCH\*

*With increasing production of plastics crop up also the need to improve their processing abilities. New methods and materials in the construction of forms are examined. Low weight and easy machinability predestines aluminium alloys for use as a material for the production of injection moulds for manufacturing of small series production. The paper deals with the verification of the suitability for selected aluminium alloys for the production of mould inserts based on problem, which occurred at real injection mould used for small series production. Massive wear of material at contact of ejector pin made from 1.1203 and insert made of Al-alloy caused deformations at final moulding. At next experiments were four types of Al alloys used. At following materials hardness and wear of materials was evaluated. To simulate the adhesive wear of friction pairs 1.1203 - Al alloy with and without greasing was adhesive wear test machine AMSLER used with simulation of surface contact. Wear intensity was evaluated by the coefficient of friction.*

**Keywords:** injection mould, aluminum alloy, friction pairs, adhesive wear, friction coefficient.

*Z powodu zwiększenia produkcji różnorodnych elementów z tworzyw polimerowych zauważana jest konieczność poprawiania procesów przetwórczych, w tym konstrukcji maszyn i narzędzi do ich przetwórstwa. Dlatego badane są nowe metody i materiały w budowie form używanych w procesie wtryskiwania. Niska waga i dobra obrabialność stopów aluminium sprawiają, że materiały te są chętnie stosowane w produkcji form wtryskowych do produkcji małoseryjnej. Artykuł dotyczy weryfikacji przydatności wybranych stopów aluminium do produkcji wymiennych części form wtryskowych pod kątem zapewnienia jak najdłuższej prawidłowej eksploatacji narzędzi. Zagadnienie przedstawione w artykule dotyczy rzeczywistych problemów, które wystąpiły w formach wtryskowych stosowanych do produkcji krótkich serii. Występujące znaczne zużycie materiału na styku wypychacza wykonanego ze stali 1.1203 i części formy wykonanej ze stopów aluminium, oraz deformacje stopu aluminium wpływają na jakość przedmiotów produkowanych z tworzyw polimerowych. W kolejnych eksperymentach przetestowano cztery rodzaje stopów Al. Wyznaczono twardość materiałów i zużycie ściernie. Aby symulować współpracę węzłów tarcia 1.1203 – Al przeprowadzono testy z i bez użycia środka smarowego za pomocą urządzenia AMSLER.*

**Słowa kluczowe:** wtryskiwanie, stopy aluminium, pary cierne, zużycie adhezyjne, współczynnik tarcia.

#### 1. Introduction

The growing demand for tools for plastics processing intensify the development of new types of plastics, as well as the rapid development of manufacturing, in particular, their application in various sectors of industrial activity. Of particular importance is that the production of elements of polymeric and the associated need for producing a growing number of tools for shape them is a significant factor in the various sectors of industrial activity.

The design of tools for forming the metal and plastics is one of the most challenging and difficult areas of engineering. Among most constructional and technologically sophisticated tools are included tools for deep drawing of sheets, tools for aluminium pressure forming and tools for plastic injection moulding – injection moulds [4, 7].

Moulds are complicated technical devices that must withstand high pressure, must provide high mouldings pressure while maintaining the precision cooperate of the various parts of the mould. Correctly constructed mould must ensure high repeatability of dimensional manufactured of elements, including mutually perpendicular planes forming, while allowing easy removal products or mouldings, from the

mould. Injection moulds work automatically. Design forms and methods of production are therefore a large field of knowledge and creation of new forms of injection involves significant financial costs.

Due to the high hydraulic pressure prevailing in the hydraulic system responsible for the correct operation of the mould, which translates into a much higher pressure in the mould cavity at injection mould, very important is quality of workmanship of the mould. Various maintenance conditions of the mould, under high load may cause deformation of the mould, when they are improperly designed [3, 5]. In order to ensure long-term and reliable maintenance of the mould, it is important to correct the submission of a few technical aspects such as mould design, selection of materials for its production intended for particular types of polymer materials and the optimization of processing conditions [2, 11, 15].

Moulds consist of functional and auxiliary parts. Each of these parts is manufactured with high precision, which is reflected in their cost. The material used in the manufacture of injection moulds must meet the required operating conditions, including temperature, pressure and abrasion resistance. The temperature of thermoplastic mate-

(\*) Tekst artykułu w polskiej wersji językowej dostępny w elektronicznym wydaniu kwartalnika na stronie [www.ein.org.pl](http://www.ein.org.pl)

rial witch flowing into the mould die during the injection moulding process is very diverse. Depending on the type of material generally ranges between 120 and 300°C. The increased temperature and high pressure on the mold material, make it necessary to determine the abrasion resistance of the mold functional unit. This is particularly important in the processing of polymeric composites having a reinforcement material of high abrasive, e.g. quartz, graphite or other hard materials [12, 6, 10].

## 2. Non-ferrous materials used in the manufacturing of injection molds

For the production of moulds and its parts is the most commonly used tool steel, structural carbon steel and alloy steel. Nowadays are more and more non-ferrous materials used in the production of injection moulds [8]. The main reason for growing interest on the use of these materials is the pressure from the market to improve product quality and shorten production times [5, 12].

Non-ferrous metals, especially copper alloys and aluminium alloys are capable by its high conductivity to meet requirements for the production of these forms [13]. Non-ferrous materials also found their use in pre-production stages such as materials for moulds for small series production. These prototype forms become the subject of tests that will provide the necessary information for planning of their manufacturing and maintenance [6, 9, 12].

## 3. The problem and aim of the research

Figure 1 shows the portion of functional the injection mould, the insert forming the a casting cavity. Presented insert before the final surface treatment. The shaped insert is produced, as a part, to quickly modify casting cavity of injection mould. Replacement of only one part of the mold allows for a quick regulating the production of various elements in small series. You can easily verify the technology of production and change the parameters for injection molding. The choice of material for the production shown in Figure 1a shaped inserts based on the following assumptions: easy mechanical processing of the material and to determine future production batches of a small series of no more than 1,000. Based on these principles to produce inserts for injection mould selected material EN AW-1100.

Injection mold, with produced insert constructionally suited to the location of the die of plasticizing unit injection was mounted in the injection moulding tool arrangement at injection moulding machine Demag 25–80. For whole mould only one ejector pin was needed, located at the centre of the mould opposite to inlet. Ejector pin is responsible for the removal of the moulding from the mould cavity after the end of the injection cycle. Such prepared form has been tested consisting in the operation of the injection mould inserts by performing the injection moulding process.

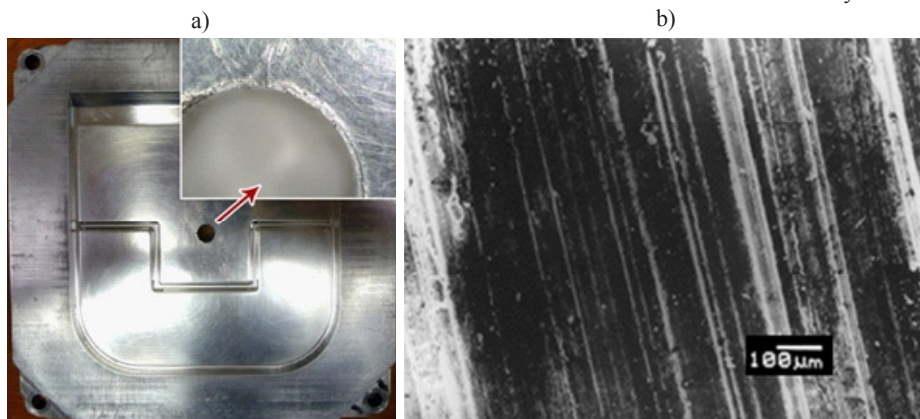


Fig. 1. Insert for injection molding with highlighted damaged surface

After production of the first batch of 100 cycles was considerable surface wear (inequalities and distortions) in place of contact of cavity and ejector from steel 1.1203. By analysis of the problem it was found that the material for the production of the cavity shape is insufficient for the resistance to the injection pressure, and by the contact with ejector material was breakaway. These micro-cracks consequently caused small deformations. These microcracks as a consequence, the continued operation of the mold, resulted in a small distortion of the material consisting of the formation of defects in the material due to wear and plastic deformation in some cases (Fig. 1b).

The aim of experiment was to the identify suitable material for the production of shaped inserts for injection moulds for small series production and comparison with previously used materials EN AW-1100. The suitable material would show better properties, including, inter alia, less wear direct influence on the stability of the mould insert parts.

Process of experiments: determination of the chemical composition of selected materials, comparison of material hardness and comparison of adhesive wear of friction pairs 1.1203 alloy with and without greasing.

Based on these findings, we will be able to identify material that will be quickly and easily machinable, but also suitable for the production of shaped cavities for experimental injection moulds for small series of plastic mouldings. The study will also estimate whether the material can be quickly and relatively easy to process on metal working machines.

## 4. Experimental part

### 4.1. The material and experimental methodology

The aim of experiments was to verify the suitability of selected aluminium alloys for the production of shaped inserts for injection forms. Operation in production does not exceed 1,000 pieces moulded of polymeric materials. Based on the experiments, the process of adhesive wear of form parts will be analyze, which effect is closest to wear in these devices and in operating conditions and their suitability for use in maintenance during production process.

Four types of aluminium alloys were used for experiments (chemical composition of this materials are in table 1):

- Alloy Al 324.0 – this type of alloy is used in the production of aluminium parts for automotive engines – marked A.
- Alloy Al 324.1 – composition is similar to alloy A. It differ by amount of alloying addition of Mn, which was reduced in the process of burn-casting up to 0.4%, and higher contents of Zn up to 12% – marked B.
- Alloy EN AB 43500 is alloy with good weld ability. Used for complex, medium-loaded casts like engine parts, compressor parts and so on – marked C.
- Alloy EN AW-1100 is the composition jest kompozycją with the highest content of aluminum over other materials. Aluminium content is 98.5%, which makes this material soft – marked D.

To determine the suitability of these materials, which satisfy the conditions of maintenance, for use in the manufacturing of parts for experimental moulds were done following experiments:

- Vickers hardness measurement,
- adhesive wear test without lubrication,
- adhesive wear test using lubrication.

Studies to determine adhesive wear of the material was carried out on samples of said friction material in the pairs of a disc-shaped counterbody. Friction roll has a 36 mm diameter and thickness of 10 mm (hardened steel

Table 1. Chemical composition of tested materials

Tested material	Contents of elements in materials in [%]											
	Al	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Cr
A – Al 324.0	89.2	0.740	0.295	7.76	0.444	0.668	0.010	1.260	0.038	0.011	0.018	0.010
B – Al 324.1	77.0	0.466	0.449	8.27	0.415	0.420	0.015	1.273	0.023	0.010	0.019	0.007
C – EN AB 43500	88.6	0.029	0.442	10.32	0.287	0.138	0.010	0.065	0.012	0.007	0.004	0.007
D – EN AW-1100	98.5	0.121	0.034	0.88	0.219	0.008	0.010	0.172	0.029	0.009	0.006	0.008

1.1203). The samples was made at the shape of flat splice plate, measuring 20x15x9 mm and made from tested Al alloys

Tribological properties of friction pairs tested were evaluated by measuring the shear friction coefficient, which was calculated from the friction torque [14]. The values of friction torque were recorded. Slip friction was evaluated according to time. The principle of the test is shown on Figure 2.

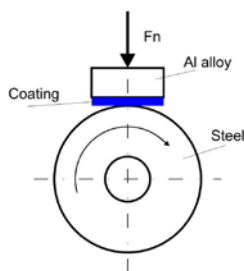


Fig. 2. Test principle of adhesive wear test

Based on the graphical representation, the friction torque was evaluated by the contact force and the disk radius and shear coefficient of friction at the base of the relationship [1]:

$$M_T = r F_T \quad (1)$$

$$\mu = F_T / F_N \quad (2)$$

where:  $M_T$  – friction torque [Nm],  $r$  – radius of the disk [m],  $F_T$  – friction force [N],  $F_N$  – contact force [N],  $\mu$  – coefficient of friction shear.

Mounting of friction roll and mating was regulated to pressure in the contact area by compressing the spring by force of 50 kN. Steel roll made of steel was rotating at speed 200  $\text{min}^{-1}$ . Deduction interval of friction torque was chosen according to the total time adequately to complete testing of samples depending on the timing of mating seizure of samples. For test of adhesive wear test machine AMSLER was used with surface contact, which allows testing of friction pairs

Friction tests were carried out with and without grease and as lubricant motor oil Madit M2T was used. Oil was applied in a thin layer with a brush on the surfaces of the sample. The whole surface of the sample was covered with a thin layer of oil.

## 4.2. Discussion of measured results

### 4.2.1. Evaluation of hardness of tested materials

Hardness of the tested samples was measured according to Vickers measuring method – HV 10 and the results are shown in Figure 3.

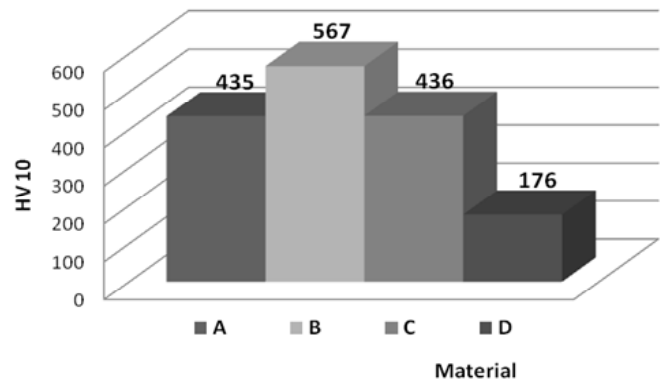


Fig. 3. Comparison of hardness of Al alloys

### 4.2.2. Evaluation of adhesive wear of friction pair metal – Al alloy

#### Friction pair: 1.1203 – Al 324.0 (sample A)

Crowding of material was observed during the test of adhesive wear without greasing - plastic displacement in the direction of the friction roll. Traces of the adhesive wear were also visible at the surface. They expressed themselves as transferred parts of material from the samples to surface of friction roll. Material transferred to the roll but also cause abrasive wear marks, showed as scratches. Sample A.1 seized after 17 seconds without greasing. Slip of sample with fixture occurred after seizure of sample.

During the test of adhesive wear with lubrication the duration to seizure several times extended. The results of friction torque, friction coefficient and the time intervals of data input are shown in Table 2. Figure 4 shows the progress of friction torque in dependence on time for samples with and without lubrication till seizing of samples. The sample and also friction roll have traces of abrasive wear, accrued as a result of interaction of ripped particles from the sample and adhering to roll. Duration of experiment until seizing was 58 minutes. Friction roll and the sample was exposed to high temperature generated by friction and it accelerated the process of ripping the particles from sample and its adhering to roll. These connections during the test caused abrasive wear of friction roll as well as its counterpart in the friction pair.

#### Friction pair: 1.1203 – Al 324.1 (sample B)

When measuring the friction torque without greasing the traces of abrasive wear were observed on sample caused by the rapture of the material from sample and sticking to the roll. In terms of tribology, we can say that this is a tearing mechanism. Interval till seizing of samples was 83 seconds. Slip of sample with fixture occurred after seizure of sample.

By measuring the friction torque using greasing the duration to seizure several times extended. On the sample surface are visible scratches incurred as a result of plastic displacement and scaly marks caused by delamination. Adhesive wear was also accompanied by abrasive wear. Abrasion was caused by material stucked to roll through

Table 2. The measured values of friction pair steel – material A with lubricant

Material	Values of friction torque M [N.m] and friction coefficient $\mu$ on time [sec]									
	1000 [sec]		4000 [sec]		4650 [sec]		4750 [sec]		5130 [sec]	
	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$
A.1	12	0.13	23	0.25	33	0.37	53	0.59	73	0.81
A.2	15	0.17	20	0.22	40	0.44	61	0.68	79	0.89
A.3	11	0.12	18	0.20	18	0.20	50	0.56	70	0.78

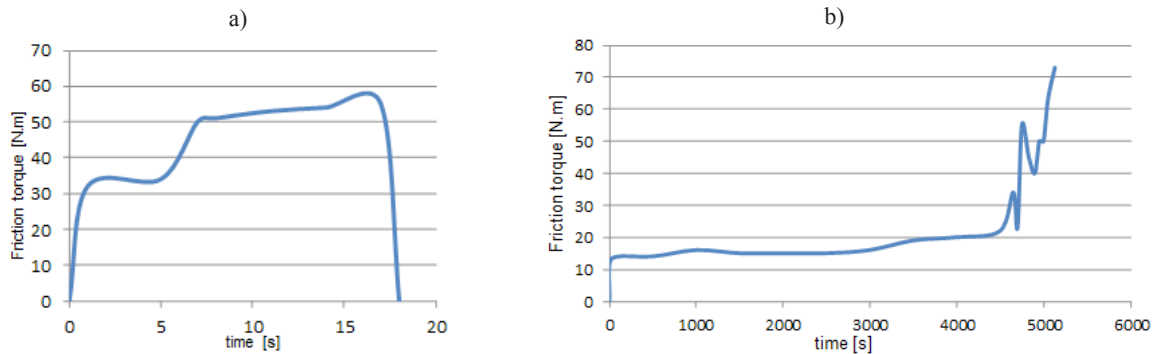


Fig. 4. Curve of friction torque vs. time- sample A.1 a) without lubrication , b) with lubrication

micro joints between roll and material samples. By creation of micro joints ripping of material from sample was observed.

The results of friction torque, friction coefficient and the time intervals of data input are shown in Table 3. Figure 5 shows the progress of friction torque in dependence on time for samples with and without lubrication till seizing of samples.

**Friction pair: 1.1203 – EN AB 43500 (sample C)**

Interval till seizing of samples without lubrication was 20 seconds. After seizing of sample adhesive wear occurred a consistent delamination of surface of sample. On friction roll particles transferred from sample were found.

During the test of adhesive wear with lubrication the duration to seizure several times extended. On sample was visible delamination and sideways displacement of material - plastic crowd-out effect. Material was not sticking to the friction roll. The test material was torn

off in the form of small swarf. Swarf immediately after breakaway falls off and further wasn't being stuck to friction roll.

The results of friction torque, friction coefficient and the time intervals of data input are shown in Table 4. Figure 6 shows the progress of friction torque in dependence on time for samples with and without lubrication till seizing of samples.

**Friction pair: 1.1203 – EN AW-1100 (material D)**

Interval till seizing of samples without lubrication was 6 seconds. Due to the low hardness of the material plastic displacement occurred almost immediately after starting the device and seizing of sample went through strong Van der Waals forces.

By measuring the friction torque using greasing the duration to seizure several times extended. Clearly visible delamination of surface with flaking particles of lamellar shape was observed on surface. The material was crowding out the sides and after loss of plastic abil-

Table 3. The measured values of friction pair steel – material B with lubricant

Material	Values of friction torque M [N.m] and friction coefficient $\mu$ on time [sec]									
	50 [sec]		100 [sec]		250 [sec]		350 [sec]		446 [sec]	
	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$
B.1	25	0.28	30	0.33	43	0.48	47	0.52	69	0.76
B.2	20	0.22	32	0.35	39	0.43	50	0.56	67	0.74
B.3	27	0.30	29	0.32	34	0,38	52	0.58	63	0.70

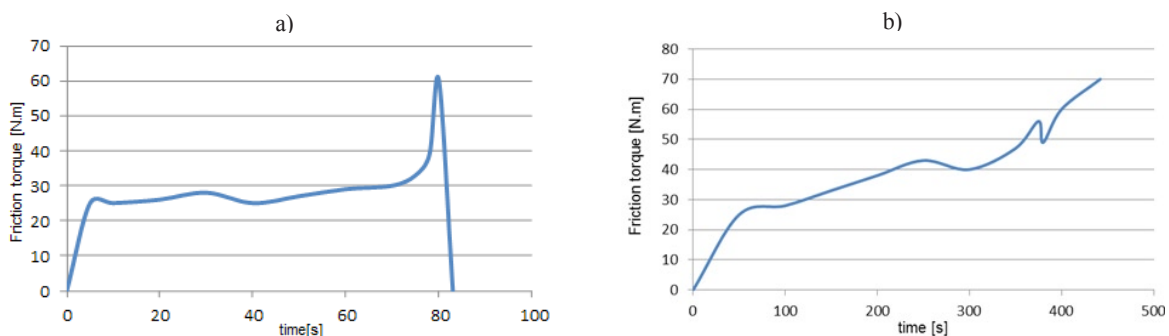


Fig. 5. Curve of friction torque vs. time – samples B.1 a) without lubrication , b) with lubrication

Table 4. The measured values of friction pair steel – material C with lubricant

Material	Values of friction torque M [N.m] and friction coefficient $\mu$ on time [sec]									
	500 [sec]		2000 [sec]		3500 [sec]		4250 [sec]		4790 [sec]	
	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$
C.1	18	0.20	17	0.19	23	0.26	28	0.31	72	0.80
C.2	15	0.17	20	0.2	32	0.36	38	0.42	65	0.72
C.3	12	0.13	15	0.17	26	0.29	25	0.28	60	0.67

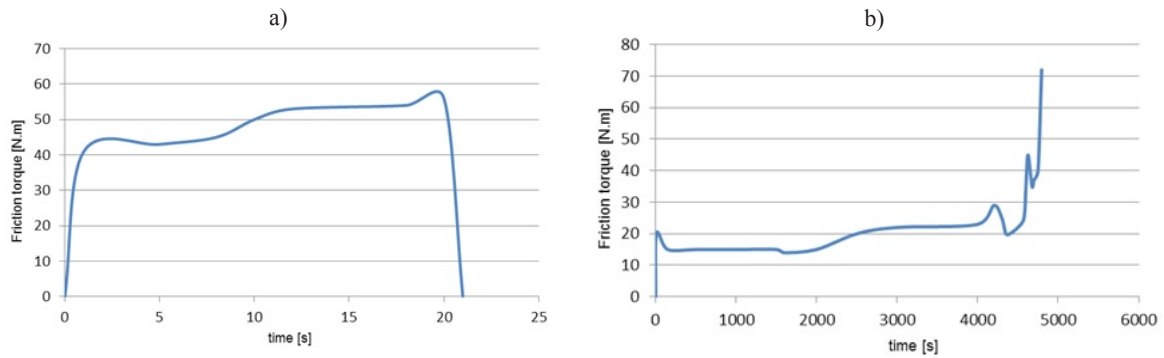


Fig. 6. Curve of friction torque vs. time- samples C.1 a) without lubrication, b) with lubrication

Table 5. The measured values of friction pair steel – material D with lubricant

Material	Values of friction torque M [N.m] and friction coefficient $\mu$ on time [sec]									
	30 [sec]		55 [sec]		80 [sec]		130 [sec]		180 [sec]	
	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$
D.1	27	0.30	30	0.33	32	0.35	35	0.39	64	0.71
D.2	25	0.28	32	0.35	35	0.39	38	0.42	67	0.74
D.3	20	0.22	29	0.32	29	0.32	37	0.41	62	0.69

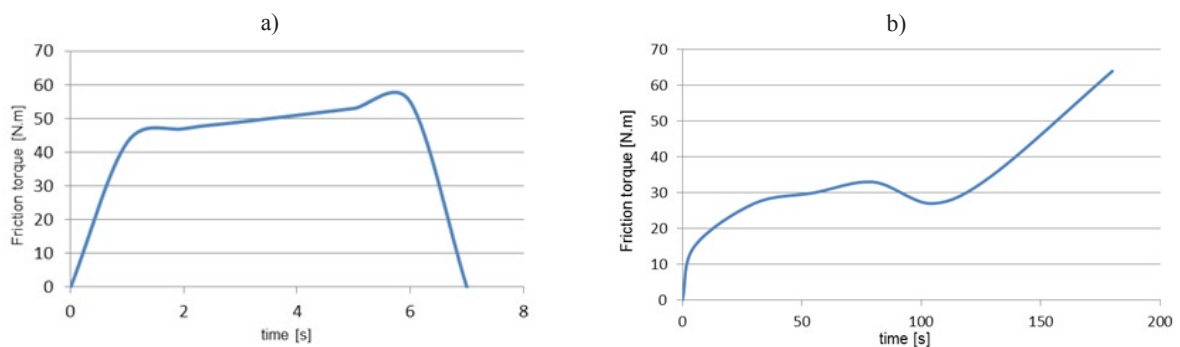


Fig. 7. Curve of friction torque vs. time – sample D.1 a) without lubrication , b) with lubrication

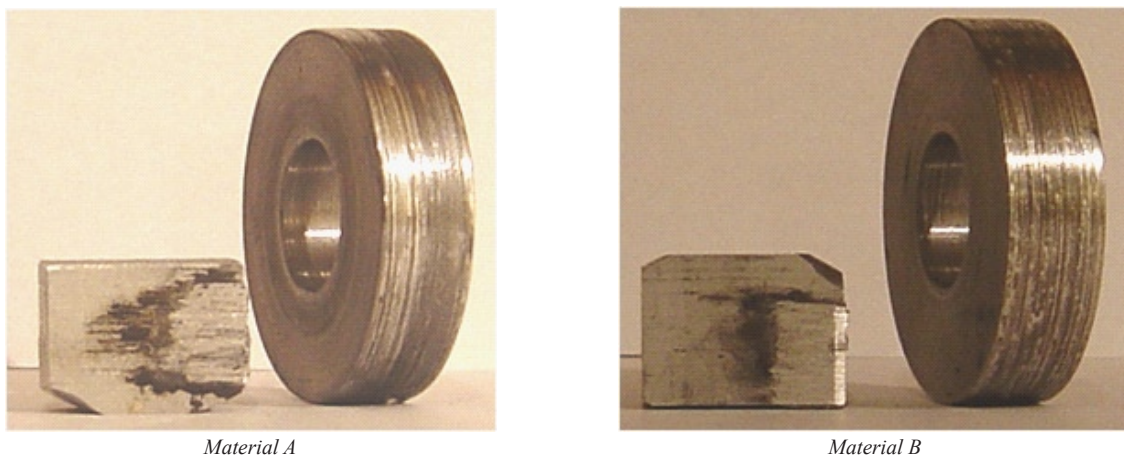


Fig. 8. Tested materials after wearing test

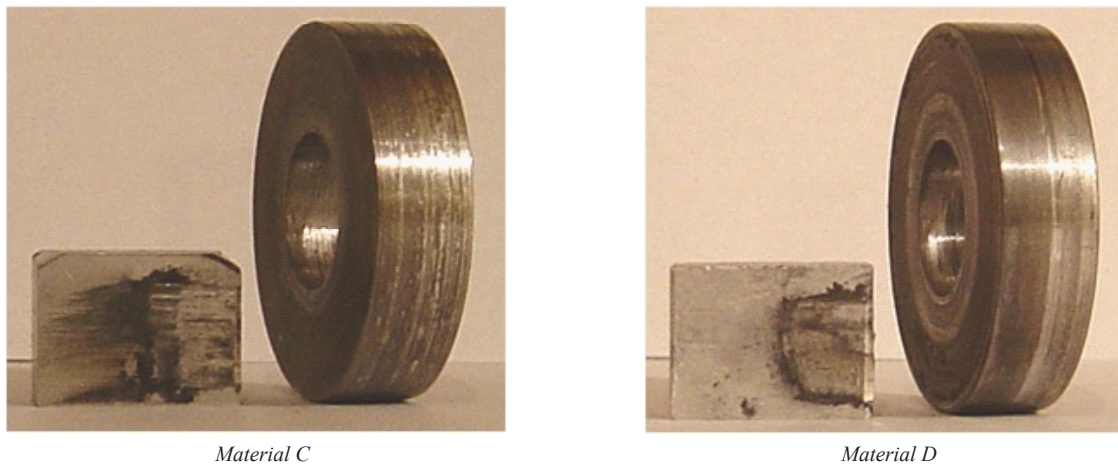


Fig. 8. Tested materials after wearing test

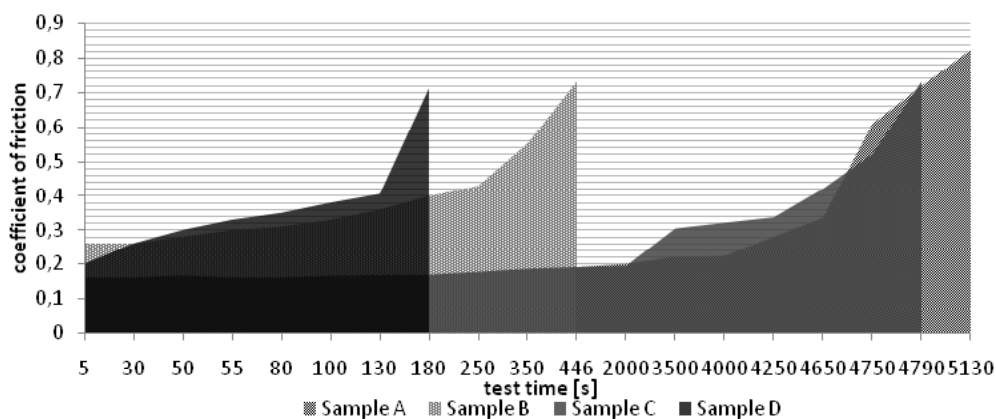


Fig. 9. The progress of the friction coefficient in dependence on the time

ity the disrupt of surface integrity began. There was no visible wear on the surface of roll.

The results of friction torque, friction coefficient and the time intervals of data input are shown in Table 5. Figure 7 shows the progress of friction torque in dependence on time for samples with and without lubrication till seizing of samples.

## 5. Conclusion

The experiments showed that at design of parts for injection moulds from on-ferrous materials (aluminium) are necessary to consider the properties of the alloy.

Based on the performed tests, we came to the following conclusions:

- Pure aluminium had not sufficient properties for a given application, as shown by tests on material EN AW-1100 (material D), which contained up to 98% aluminium. The time until the sample seized and the type of wear and tear, which occurred during the tests, indicate that the high-purity alloys are not suitable for the production of structural parts of the mould by mutual their movement relative to each other during the maintenance of the form.
- Al 324.1 alloy (material B) behaved at friction test better than material EN AW-1100, but the times to seizure and friction co-

efficient values show that even this alloy is not suitable for use in the manufacturing of moulds. Material contained large amounts of zinc, what caused great hardness of alloy in comparison with other studied alloys –up to 567 HV

- Alloys Al 324.0 and Al 324.0 (material A, C) after tests appeared to be most favorable for the production of parts for forms in terms of maintenance conditions. The optimal composition of the alloy guarantees sufficient operation time.
- The model test results showed that for the production of shaped parts of the mould is the most suitable tested alloy material B (stop Al 324.1). At the end of experiment, the material reached the highest coefficient of friction, the material seized after the longest time of maintenance. In practice, mould parts are not stressed to such an extreme way as samples at model test. Greasing is often permanently secured.

The aim of the experiment was to verify and confirm the practical choice of the most suitable non-ferrous materials from the supplied range of materials for the production of shaped parts of injection moulds. These materials can be used in the production of moulded parts of injection moulds for plastics and will ensure the most no-failure operation in small series production.

**Acknowledgements:** This paper is the result of the project PIRSES-GA-2010-269177 supported by The international project realized in range of Seventh Frame Programme of European Union (FP7), Marie Curie Actions, PEOPLE and the result of the project ITMS: 26220120060 supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF.

---

**References**

1. Blaškovič P, Balla J, Dzimko M. Tribológia. Bratislava: Alfa, 1990.
2. Galetz M, Seiferth S, Theile B, Glatzel U. Potential for adhesive wear in friction couples of UHMWPE running against oxidized zirconium, titanium nitride coatings, and cobaltchromium alloys, *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, Volume 93B, Issue 2, 2010.
3. Garbacz T, Sikora JW. Selected aspects of coatings production in cellular co-extrusion process. The Polymer Processing Society. Banff, Canada 2010, R01–131.
4. Greškovič F, Dulebová L, Varga J. Technológie spracovania plastov. Vstrekovanie. Košice: SjF TU v Košiciach, 2010.
5. Greškovič F, Spišák E. Materiály foriem na spracovanie plastov. *Acta Metallurgica Slovaca* 2003; 9: 41–48.
6. Hidveghy J, Dusza J. Nekomovné konštrukčné materiály. Košice: TU v Košiciach, 1998.
7. Jachowicz T. Wybrane zagadnienia niezawodności obiektów technicznych. *Przetwórstwo tworzyw* 2009; 2 (128)/15: 34–45.
8. Kelly L, Mulvaney-Johnson R, Beechey P. The effect of copper alloy mold tooling on the performance of the injection molding process, *Polymer Engineering & Science*, 2011; 51 (9): 1837–1847.
9. Mandal D, Dutta BK, Panigrah SC. Wear and friction behavior of stir cast aluminium-base short steel fiber reinforced composites. *Wear* 2004; 7–8 (257): 654–664.
10. McKellop H, Clarke I, Markolf K, Amstutz H. Friction and wear properties of polymer, metal, and ceramic prosthetic joint materials evaluated on a multichannel screening device, *Journal of Biomedical Materials Research* 2004; 15 (5): 619–653.
11. Michaeli W, Lindner F. Influence of Mould Materials on the Morphological and Mechanical Properties of Injection-Moulded Prototypes, *Macromolecular Materials and Engineering* 2001; 286 (4): 232–236.
12. Суберляк ОВ, Красінський ВВ, Шаповал ІМ. Прес-матеріали на основі комбінованого зв'язувального. Технологічні та експлуатаційні характеристики. *Хімічна промисловість України* 2009; 3: 52–54.
13. Štofko M, Štofková M. Neželezné kovy. Košice: Emilie, 2005.
14. Wojciechowski Ł, Nosal S. The application of free surface energy measurement to valuation of adhesive scuffing. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2010; 1 (45): 83–90.
15. Xu J. *Materials for Microcellular Injection Molding*, Microcellular Injection Molding, 2010, Wiley, London, ISBN: 978-0-470-46612-4.

---

**Prof. František GREŠKOVIČ, Ph.D., D.Sc. (Eng.)****Ludmila DULEBOVÁ, Ph.D. (Eng.)****Branislav DULEBA, Eng.**

Department of Technologies and Materials

Technical University of Košice

Mäsiarska 74, Košice, Slovakia

E-mails: frantisek.greskovic@tuke.sk,

ludmila.dulebova@tuke.sk, branislav.duleba@tuke.sk

**Aneta KRZYŻAK, Ph.D. (Eng.)**

Department of Polymer Processing

Lublin University of Technology

uk. Nadbystrzycka 36, 20-816 Lublin, Poland

E-mail: a.krzyzak@pollub.pl

---

**Prof. Ing. František Greškovič, CSc.<sup>1</sup>**

**Ing. Ľudmila Dulebová, PhD.<sup>1</sup>**

**Ing. Branislav Duleba<sup>1</sup>**

**Aneta Krzyżak, Ph.D., Eng.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Technologies and Materials

Technical University of Košice

Mäsiarska 74, Košice, Slovakia

E-mail: [frantisek.greskovic@tuke.sk](mailto:frantisek.greskovic@tuke.sk), [ludmila.dulebova@tuke.sk](mailto:ludmila.dulebova@tuke.sk), [branislav.duleba@tuke.sk](mailto:branislav.duleba@tuke.sk)

<sup>2</sup> Department of Polymer Processing

Lublin University of Technology

36 Nadbystrzycka St., 20-816 Lublin, Poland

E-mail: [a.krzyzak@pollub.pl](mailto:a.krzyzak@pollub.pl)

## **Eksplatacyjne kryteria oceny przydatności stopów aluminium do produkcji wymiennych części form wtryskowych**

### **Study of wear of injection molds cavity plates from non-ferrous materials**

**Keywords:** injection mould, aluminum alloy, friction pairs, adhesive wear, friction coefficient

**Słowa kluczowe:** wtryskiwanie, stopy aluminium, pary cierne, zużycie adhezyjne, współczynnik tarcia

**Abstract:** With increasing production of plastics crop up also the need to improve their processing abilities. New methods and materials in the construction of forms are examined. Low weight and easy machinability predestines aluminium alloys for use as a material for the production of injection moulds for manufacturing of small series production. The paper deals with the verification of the suitability for selected aluminium alloys for the production of mould inserts based on problem, which occurred at real injection mould used for small series production. Massive wear of material at contact of ejector pin made from 1.1203 and insert made of Al-alloy caused deformations at final moulding. At next experiments were four types of Al alloys used. At following materials hardness and wear of materials was evaluated. To simulate the adhesive wear of friction pairs 1.1203 - Al alloy with and without greasing was adhesive wear test machine AMSLER used with simulation of surface contact. Wear intensity was evaluated by the coefficient of friction.

**Streszczenie:** Z powodu zwiększenia produkcji różnorodnych elementów z tworzyw polimerowych zauważana jest konieczność poprawiania procesów przetwórczych, w tym konstrukcji maszyn i narzędzi do ich przetwórstwa. Dlatego badane są nowe metody i materiały w budowie form używanych w procesie wtryskiwania. Niska waga i dobra obrabialność stopów aluminium sprawiają, że te materiały są chętnie stosowane do produkcji form wtryskowych do produkcji małoseryjnej. Artykuł dotyczy weryfikacji przydatności wybranych stopów aluminium do produkcji wymiennych części form wtryskowych pod kątem zapewnienia jak najdłuższej prawidłowej eksploatacji narzędzi. Zagadnienie przedstawione w artykule dotyczy rzeczywistych problemów, które wystąpiły w formach wtryskowych stosowanych do produkcji krótkich serii. Występujące znaczne zużycie materiału na styku wypychacza wykonanego ze stali 1.1203 i części formy wykonanej ze stopów aluminium. Deformacje stopu aluminium wpływają na jakość przedmiotów produkowanych z tworzyw polimerowych. W kolejnych eksperymentach przetestowano cztery rodzaje stopów Al. Wyznaczono twardość materiałów i zużycie ściernie. Aby symulować współpracę węzłów tarcia 1.1203 – Al przeprowadzono testy z i bez użycia środka smarnego za pomocą urządzenia AMSLER.

## **1. Wprowadzenie**



Rosnące zapotrzebowanie na narzędzia do przetwórstwa tworzyw polimerowych wynika z intensywnego rozwoju nowych rodzajów tworzyw polimerowych, a przede wszystkim idącego za tym szybkiego rozwoju produkcji. Szczególne znaczenie ma to, że produkcja elementów z tworzyw polimerowych i związana z tym konieczność wytwarzania coraz liczniejszych narzędzi do ich kształtowania jest znamionym czynnikiem w różnych sektorach działalności przemysłowej.

Konstrukcja narzędzi do formowania zarówno elementów z materiałów metalowych, jak i tworzyw polimerowych jest jedną z najtrudniejszych dziedzin inżynierskich. Wśród wszystkich narzędzi do kształtowania, najbardziej zaawansowane, pod względem konstrukcyjnym i technologicznym, są narzędzia do głębokiego tłoczenia blach, narzędzia do kształtowania aluminium pod ciśnieniem oraz narzędzia do formowania tworzyw polimerowych metodą wtryskiwania, czyli formy wtryskowe [4, 7].

Formy wtryskowe to skomplikowane urządzenia techniczne, które muszą być odporne na wysokie ciśnienie, i przenosić duże obciążenia przy zachowaniu precyzji współpracy poszczególnych części formy. Prawidłowo skonstruowana forma wtryskowa musi zapewnić dużą powtarzalność wymiarową wytwarzanych elementów, w tym wzajemnie prostopadłych płaszczyzn formujących, przy jednoczesnym umożliwieniu łatwego usuwania produktów, czyli wyprasek, z formy. Formy wtryskowe działają w sposób zautomatyzowany. Konstrukcja formy i metody jej wytworzenia stanowią zatem dużą dziedzinę wiedzy a wytworzenie nowych form wtryskowych pociąga za sobą znaczne koszty finansowe. Ze względu na wysokie ciśnienie hydrauliczne panujące w układzie hydraulicznym odpowiadającym za prawidłowe działanie formy, a które przekłada się na znacznie wyższe ciśnienie w gnieździe formującym formę, niezwykle istotna jest jakość wykonania części formy. Zmienne warunki eksploatacji formy wtryskowej, pod dużym obciążeniem mogą spowodować odkształcenie się części formy, w przypadku jeśli zostaną źle zaprojektowane [3, 5]. W celu zapewnienia długotrwałej i bezawaryjnej eksploatacji formy wtryskowej, bardzo ważne jest prawidłowe złożenie kilku aspektów technicznych takich jak: projekt formy, dobór materiałów do jej wytworzenia z przeznaczeniem do konkretnych rodzajów tworzywa polimerowego oraz optymalizacja warunków procesu technologicznego [2, 11, 15].

Formy składają się z dwóch zespołów części: funkcjonalnego i pomocniczego. Każdy z tych zespołów jest produkowany z dużą dokładnością, co znajduje odzwierciedlenie w ich kosztach. Materiał stosowany do wytworzenia form wtryskowych musi spełniać wymagane warunki pracy, w tym temperatury, ciśnienia i odporności na ścieranie. Temperatura tworzywa termoplastycznego wpływającego do formy podczas procesu wtryskiwania jest bardzo zróżnicowana. W zależności od rodzaju tworzywa zazwyczaj waha się między 120 a 300°C. Podwyższona temperatura oraz duży nacisk na materiał formy, powodują, że konieczne jest określenie odporności na ścieranie części formy zespołu funkcjonalnego. Jest to szczególnie istotne w przetwórstwie kompozytów polimerowych mających za wzmocnienie materiały o dużych właściwościach ściernych, np. kwarc, grafit lub inne twarde materiały [12, 6, 10].

## **2. Zastosowanie materiałów nieżelaznych w budowie form wtryskowych**

Do produkcji form i ich części najczęściej jest stosowana stal narzędziowa, węglowa stal konstrukcyjna oraz stale stopowe. Jednak coraz częściej i chętniej, w produkcji form wtryskowych, stosowane są materiały nieżelazne [8]. Głównym powodem wzrostu zainteresowania wykorzystania innych, alternatywnych materiałów jest zapotrzebowanie rynku ukierunkowane na poprawę jakości produktu i skrócenia czasu produkcji [5, 12].

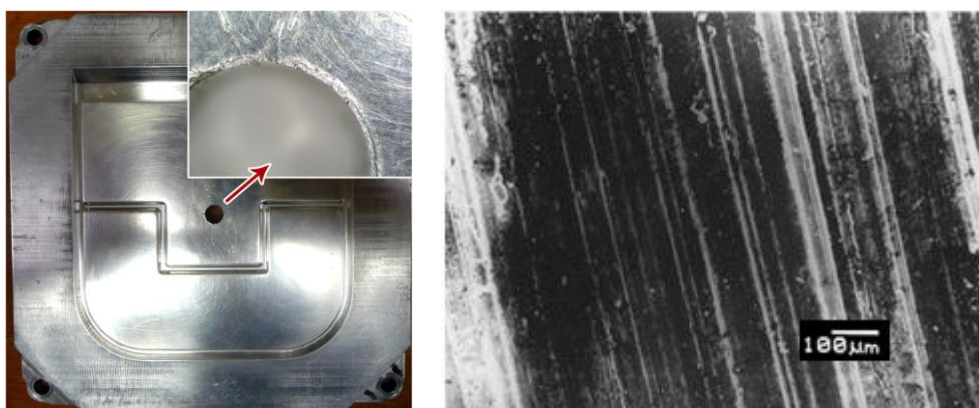
Metale nieżelazne, zwłaszcza stopy miedzi i stopy aluminium, dobrze wpisują się w stawiane przez rynek wymagania dotyczące produkcji form wtryskowych [13]. Materiały nieżelazne mają także tę zaletę, że mogą być zastosowane także w produkcji prototypów, czy analizowaniu kolejnych etapów produkcji, jak również mogą być użyte do form wtryskowych

ukierunkowanych na produkcję krótkich serii. Wykonane z nich prototypy form mogą stać się przedmiotem badań, które dostarczają informacji niezbędnych do planowania ich dalszej produkcji oraz eksploatacji [6, 9, 12].

### 3. Problem badawczy

Na rysunku 1 przedstawiono część zespołu funkcjonalnego formy wtryskowej, wkładki z gniazdem formującym. Zaprezentowano wkładkę przed końcową obróbką powierzchni. Wkładka jest produkowana, jako część, do szybkiej modyfikacji gniazd formujących formy wtryskowej. Wymiana tylko jednej części formy pozwala na szybkie regulowanie produkcji różnych elementów w małych seriach. W łatwy sposób można weryfikować technologię wytwarzania i zmianę parametrów do formowania wtryskowego. Wybór materiału do wytworzenia przedstawionej na rysunku 1a wkładki do formy opierał się na następujących założeniach: łatwa obróbka mechaniczna tego materiału oraz określenie przyszłej partii produkcji w zakresie małej serii nie więcej niż 1000 sztuk. Kierując się tymi wytycznymi do wytworzenia wkładki formy wtryskowej wybrano materiał EN AW-1100.

Forma wtryskowa, z wytworzoną wkładką dopasowaną konstrukcyjnie do umiejscowienia dyszy układu uplastyczniającego wtryskarki, została zamontowana w układzie narzędziowym wtryskarki Demag 25-80. W konstrukcji wkładki, części wymiennej formy, jeden otwór na trzpień wypychacza zaprojektowano naprzeciwko otworu, którym jest doprowadzane tworzywo do gniazda formującego formy wtryskowej. Wypychacz odpowiada za usunięcie wypraski z gniazda formującego po zakończonym cyklu wtryskiwania. Tak przygotowana forma poddana została testom polegającym na eksploatacji wkładki formy wtryskowej poprzez przeprowadzenie procesu wtryskiwania. Po produkcji pierwszej partii odpowiadającej 100 cyklom wtrysku było zauważalne znaczne zużycie powierzchni (nierówności i zniekształcenia) w miejscu styku wkładki z wypychaczem wykonanym ze stali 1.1203. W analizie problemu stwierdzono, że materiał użyty do ukształtowania tego otworu nie jest wystarczająco odporny na ciśnienie wtrysku, ponadto w zetknięciu z wypychaczem dochodziło do powstania mikropęknięć. Te mikropęknięcia w konsekwencji, po dalszej eksploatacji formy, spowodowały małe zniekształcenia materiału polegające na powstaniu ubytków materiału w wyniku ścierania oraz niekiedy odkształceniach plastycznych (rys. 1b).



*Fig.1 Insert for injection molding with highlighted damaged surface*

Celem eksperymentu było wyznaczenie odpowiednich materiałów do wytworzenia wkładek do form wtryskowych do produkcji krótkich serii, które w zadanych warunkach eksploatacji w porównaniu z dotychczas stosowanym materiałem EN AW-1100, wykazałyby lepsze właściwości, w tym między innymi mniejsze zużycie ścierne bezpośrednio przekładające się na trwałość wkładki formy wtryskowej.

Kolejność działań w przyjętym planie eksperymentu była następująca: określenie składu chemicznego wybranych materiałów, porównanie twardości materiałów oraz porównanie ich zużycia w porównaniu z parami ciernymi wykonanymi ze stopów 1.1203 i Al zarówno z użyciem ośrodka smarnego, jak i bez smarowania.

Na podstawie tych wyników, można określić, który z wybranych materiałów najbardziej nadaje się do wytwarzania wkładek form wtryskowych z przeznaczeniem do produkcji w małych seriach wyprasek z tworzyw polimerowych. Wyniki badań pozwolą również na oszacowanie, czy dany materiał będzie można szybko i stosunkowo łatwo obrabiać na obrabiarkach skrawających.

## 4. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### 4.1. Materiał i metodyka badań

Celem badań było sprawdzenie przydatności wybranych stopów aluminium do produkcji wkładek do form wtryskowych z przeznaczeniem do eksploatacji w warunkach produkcyjnych do 1000 sztuk wyprasek z tworzyw polimerowych. Na podstawie doświadczeń, efekt procesu zużycia powierzchni wkładki formy wtryskowej będzie poddany analizie, która pozwoli na ocenę materiałów pod kątem ich przydatności do eksploatacji w określonych urządzeniach oraz w danych warunkach pracy.

W eksperymencie zastosowano cztery rodzaje stopów aluminium (skład chemiczny zestawiono w tabeli 1):

- Stop Al 324.0 stop tego typu stosuje się w produkcji części aluminiowych do silników samochodowych – w planie eksperymentu został oznaczony literą A.
- Stop Al 324.1 – jest podobny do składu stopu A. Różni się ilością dodatku stopowego Mn, który był zredukowany do 0,4%.
- Stop EN AB 43500 jest stopem o dobrej spawalności. Używany do złożonych, średnich obciążonych odlewów takich jak części maszyn, części do sprzęzarek i tak dalej – oznaczony literą C.
- Stop o nazwie EN AW-1100 jest kompozycją z największą zawartością aluminium względem pozostałych materiałów. Zawartość aluminium jest 98,5%, co sprawia, że ten materiał jest stosunkowo miękki – litera D.

Table 1. Chemical composition of tested materials

Tested material	Contents of elements in materials in [%]											
	Al	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Cr
<b>A - Al 324.0</b>	89.2	0.740	0.295	7.76	0.444	0.668	0.010	1.260	0.038	0.011	0.018	0.010
<b>B - Al 324.1</b>	77.0	0.466	0.449	8.27	0.415	0.420	0.015	1.273	0.023	0.010	0.019	0.007
<b>C - EN AB 43500</b>	88.6	0.029	0.442	10.32	0.287	0.138	0.010	0.065	0.012	0.007	0.004	0.007
<b>D - EN AW-1100</b>	98.5	0.121	0.034	0.88	0.219	0.008	0.010	0.172	0.029	0.009	0.006	0.008

W celu określenia przydatności tych materiałów, spełniających warunki eksploatacji, do zastosowania w produkcji elementów do doświadczalnych form wtryskowych przeprowadzono następujące pomiary:

- twardości,
- zużycia materiału w wyniku tarcia suchego,
- zużycia materiału w wyniku tarcia z użyciem środków smarnych.

Badania, w celu określenia zużycia materiału, przeprowadzono na próbkach z wymienionych materiałów w węzłach tarcia z przeciwpróbką w kształcie dysku. Dysk ścierny o średnicy 36 mm i grubości 10 mm został wykonany z materiału, z którego jest wykonany wyrzutnik formy wtryskowej, ze stali hartowanej 1.1203. Współpracujące z dyskiem próbki z testowanych w eksperymencie stopów AL, były w kształcie płaskiej płytki o wymiarach 20x15x9 mm.

Właściwości tribologiczne testowanych par ciernych oceniano przez pomiar współczynnika tarcia, który oblicza się na podstawie wartości momentu obrotowego przeciwpróbki [14]. Wartości momentu obrotowego odczytywano w czasie trwania testu tarcia. Istotę prowadzenia testu pomiaru zużycia trybologicznego przedstawiono na rysunku 2.

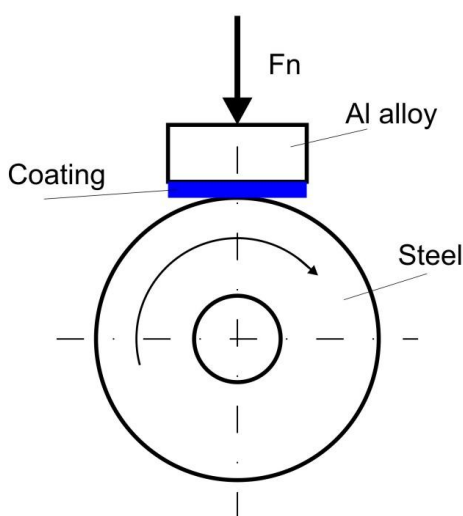


Fig. 2. Test principle of adhesive wear test

Na podstawie graficznych wyników pomiaru, moment obrotowy tarcia oraz współczynnik tarcia w odniesieniu do siły nacisku i promienia dysku wyznaczono na podstawie zależności [1]:

$$M_T = r F_T \quad (1)$$

$$\mu = F_T / F_N \quad (2)$$

gdzie:  $M_T$  – moment obrotowy tarcia [Nm],  $r$  – promień dysku [m],  $F_T$  – siła tarcia [N],  $F_N$  – siła nacisku [N],  $\mu$  – współczynnik tarcia.

Siła nacisku w obszarze styku pomiędzy dyskiem ściernym a współpracującymi próbkami jest regulowana przez ściskanie sprężyny w zakresie do 50 kN. Dysk cierny wykonany ze stali obraca się z prędkością obrotową  $200 \text{ min}^{-1}$ . Odczyt momentu obrotowego tarcia był wykonywany przez cały czas trwania pomiaru adekwatnie do całkowitego czasu testowania próbek zależnie od momentu wystąpienia zatarcia współpracującej pary cierniej. Badanie zużycia materiału między współpracującymi ze sobą powierzchniami styku przeprowadzono z wykorzystaniem urządzenia pomiarowego AMSLER.

Testy przeprowadzono w tarcu suchym oraz z użyciem środka smarnego, którym był olej MADIT M2T. Na powierzchnię próbki olej наносzono za pomocą pędzla, w ten sposób, aby cała powierzchnia próbki była pokryta cienką warstwą oleju.

#### 4.2. Wyniki pomiarów

#### 4.2.1. Pomiary twardości

Twardość badanych próbek mierzono według metody Vickersa – HV 10. Wyniki pomiaru twardości zaprezentowano na rysunku 3.

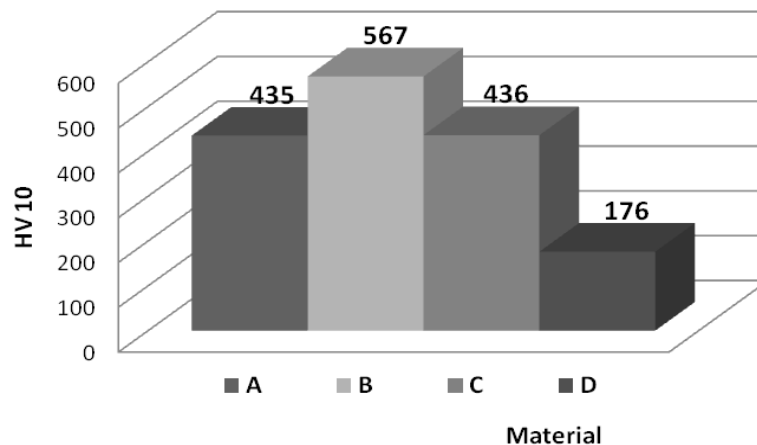


Fig. 3. Comparison of hardness of Al alloys

#### 4.2.2. Ocena zużycia ściernego par ciernych stal – stop aluminium

##### Para cierna: 1.1203 – Al 324.0 (próbka A)

Podczas badania zużycia ściernego bez smarowania obserwowano przemieszczenie oderwanych cząstek materiału stopu Al i gromadzenie się ich na powierzchni dysku ściernego. Ślady zużycia materiału były również widoczne na jego powierzchni. Jest to spowodowane przeniesieniem cząstek materiału z próbek na powierzchnię dysku ciernego. Materiał przeniesiony na dysk także powoduje zużycie ściernie, co jest widoczne w postaci zadrapań. Zatarcie próbki A.1 podczas próby bez smarowania, nastąpiło po 17 sekundach. Poślizg próbki w uchwycie nastąpił po zatarciu próbki.

Podczas testu zużycia z użyciem smaru czas trwania pomiaru do zatarcia był kilka razy dłuższy. Wyniki pomiaru momentu tarcia, współczynnika tarcia w wybranych przedziałach czasowych są zestawione w tabeli 2. Na rysunku 4 znajduje się wykres obrazujący przebieg momentu tarcia w zależności od czasu pomiaru dla próbek ze smarowaniem i bez środka smarnego rejestrowany aż do czasu zatarcia próbek. Zarówno próbki, jak i dyski cierne nosiły ślady zużycia ściernego, wynikające z wzajemnego oddziaływania odrywanych od próbki cząstek. Czas trwania eksperymentu do zatarcia dla próbek smarowanych wyniósł 58 minut. Dyski cierne i próbki wystawiane były na działanie wysokiej temperatury wygenerowanej w wyniku procesu tarcia, co przyspieszało proces odrywania cząstek z próbki i ich przylegania do powierzchni dysku. To połączenie, podczas pomiaru, spowodowało znaczne zużycie ściernie rolki cierniej, podobne do zużycia samej próbki w tej parze cierniej.

Table 2. The measured values of friction pair steel – material A with lubricant

Material	Values of friction torque M [N.m] and friction coefficient $\mu$ on time [sec]									
	1000 [sec]		4000 [sec]		4650 [sec]		4750 [sec]		5130 [sec]	
	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$
A.1	12	0.13	23	0.25	33	0.37	53	0.59	73	0.81
A.2	15	0.17	20	0.22	40	0.44	61	0.68	79	0.89

A.3	11	0.12	18	0.20	18	0.20	50	0.56	70	0.78
-----	----	------	----	------	----	------	----	------	----	------

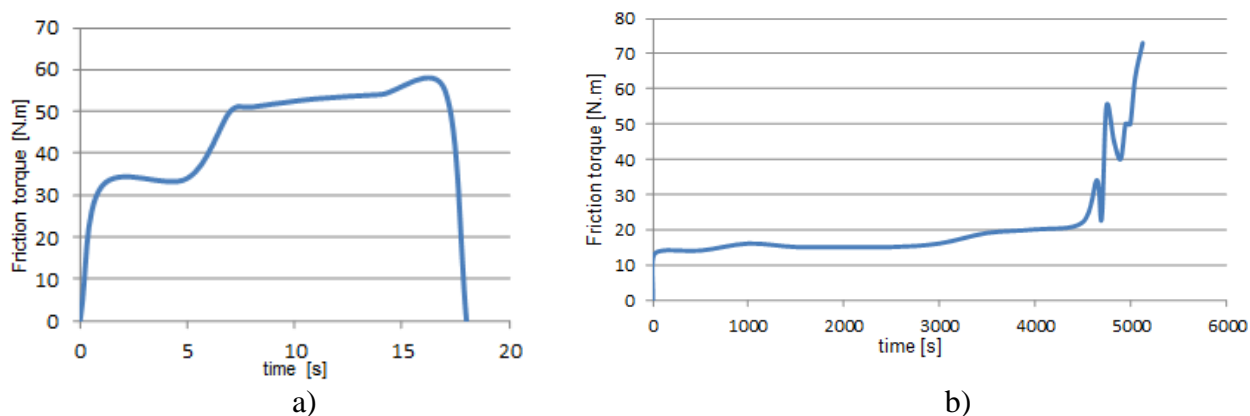


Fig. 4. Curve of friction torque vs. time- sample A.1  
a) without lubrication , b) with lubrication

### Para cierna: 1.1203 – Al 324.1 (próbka B)

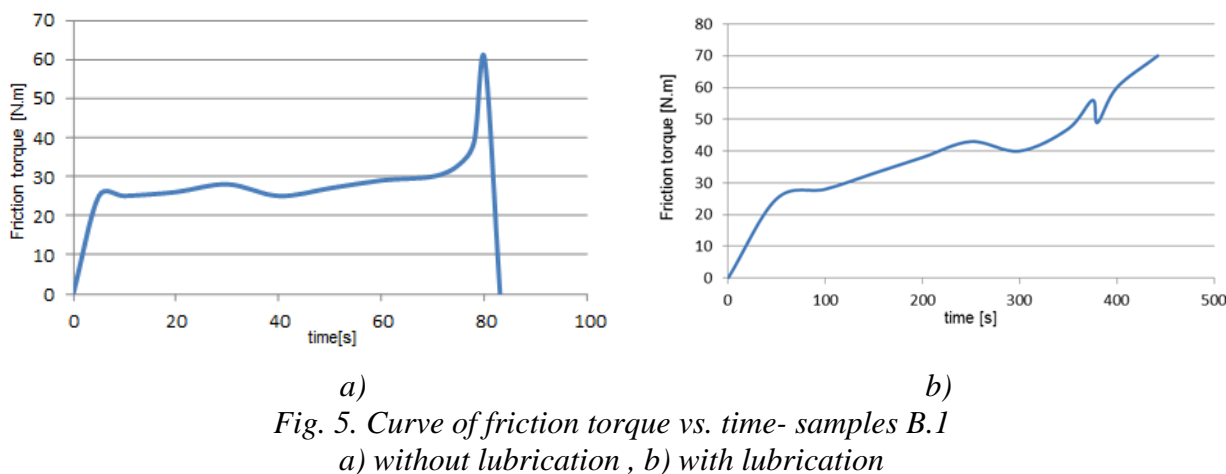
Podczas pomiaru momentu tarcia bez smarowania, ślady ścierania były obserwowane w miejscach gdzie proces tarcia spowodował odrywanie się cząstek materiału z warstwy przypowierzchniowej próbki i zatrzymywanie się ich na powierzchni dysku. W zakresie trybologii, można powiedzieć, że jest to mechanizm zacierania. Czas do zatarcia próbek wyniósł 83 sekund. Poślizg zamocowanej próbki nastąpił po zatarciu.

Pomiar momentu obrotowego podczas procesu tarcia z użyciem środka smarnego do czasu zatarcia trwał wielokrotnie dłużej. Na powierzchni próbki widoczne były zarysowania będące wynikiem odkształcenia plastycznego oraz złuszczenia materiału spowodowanego rozwarstwieniem. Zużyciu adhezyjnemu towarzyszyło również zużycie ściernie. Podczas testu nastąpiło powstanie trwałych zespojonych mikropołączeń pomiędzy materiałem próbki a materiałem dysku. W wyniku dalszego przemieszczania się powierzchni dysku względem powierzchni próbki, nastąpiło odrywanie cząstek będących powstałymi mikropołączeniami.

Wyniki momentu tarcia, współczynnika tarcia w niektórych przedziałach czasowych są zestawione w tabeli 3. Na rysunku 5 przedstawiono przebieg momentu tarcia w zależności od czasu dla próbek bez i ze smarowaniem do chwili zatarcia.

Table 3. The measured values of friction pair steel –material B with lubricant

Material	Values of friction torque M [N.m] and friction coefficient $\mu$ on time [sec]									
	50 [sec]		100 [sec]		250 [sec]		350 [sec]		446 [sec]	
	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$
B.1	25	0.28	30	0.33	43	0.48	47	0.52	69	0.76
B.2	20	0.22	32	0.35	39	0.43	50	0.56	67	0.74
B.3	27	0.30	29	0.32	34	0,38	52	0.58	63	0.70



**Para cierna: 1.1203 – EN AB 43500 (próbka C)**

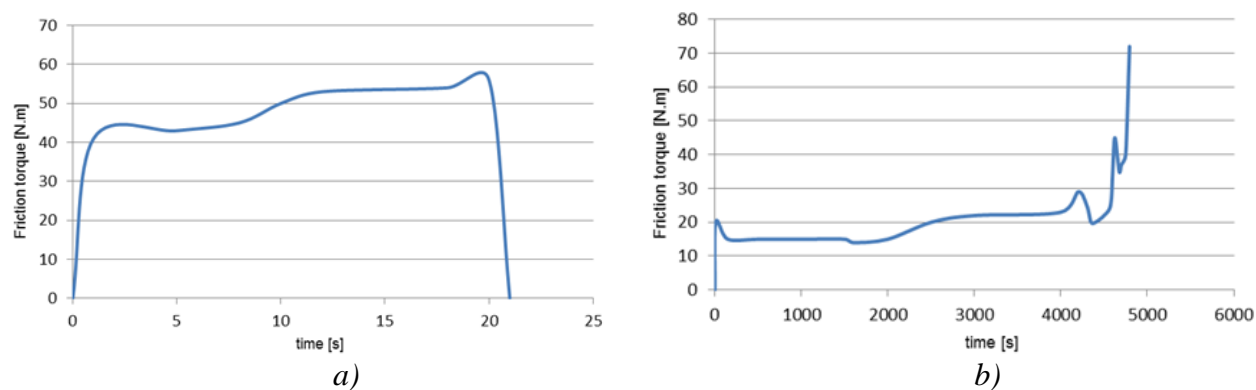
Czas trwania pomiaru próbek bez smarowania wyniósł 20 sekund. Po wystąpieniu zużycia adhezyjnego próbki nastąpiło rozwarstwienie powierzchni próbki. Na powierzchni dysku zostały znalezione cząstki materiału przeniesionego z próbki.

W tym przypadku podczas testu zużycia ściernego ze smarowaniem również czas trwania pomiaru był kilkadziesiąt razy dłuższy niż przy pomiarach zużycia bez smarowania. Na powierzchni próbki widoczne było rozwarstwienie materiału i boczne przemieszczenie plastycznie odkształconego materiału – out effect. Materiał nie przykleił się do dysku ciernego. Materiał testowy był porozrywany i przybrał postać małych wiórków. Opilki po oderwaniu natychmiast odpadły i nie łączyły się z powierzchnią dysku ciernego.

Wartości mierzonych wielkości podczas testu pary cierniej 1.1203 – EN AB 43500 bez użycia środka smarnego zestawiono w tabeli 4, jak również zaprezentowano w postaci graficznej na rysunku 6 razem z wynikami testu przy użyciu środka smarnego.

Table 4. The measured values of friction pair steel –material C with lubricant

Material	Values of friction torque M [N.m] and friction coefficient $\mu$ on time [sec]									
	500 [sec]		2000 [sec]		3500 [sec]		4250 [sec]		4790 [sec]	
	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$
C.1	18	0.20	17	0.19	23	0.26	28	0.31	72	0.80
C.2	15	0.17	20	0.2	32	0.36	38	0.42	65	0.72
C.3	12	0.13	15	0.17	26	0.29	25	0.28	60	0.67



## Para cierna: 1.1203 – EN AW-1100 (próbka D)

Czas trwania testu bez smarowania to 6 sekund. Ze względu na niską twardość materiału próbki niemal natychmiast po uruchomieniu urządzenia nastąpiło plastyczne odkształcenie materiału próbki i przekroczenie dużej siły Van der Waalsa prowadząc do zatarcia.

Zastosowanie smarowania znacznie wydłużyło czas trwania testu. W tym teście zaobserwowano wyraźne rozwarstwienie powierzchni z dobrze widocznymi złuszczoneymi cząstkami w kształcie płytek. Po utracie właściwości plastycznych została naruszona struktura powierzchni, a oderwany materiał został wyparty na boki. Nie zauważono zużycia powierzchni dysku.

Przykładowe wyniki badań, tj. wartości momentu obrotowego tarcia, współczynnika tarcia w wybranych przedziałach czasowych zaprezentowano w tabeli 5. Natomiast na rysunku 7 widoczne są zmiany wartości momentu obrotowego w trakcie trwania pomiaru.

Table 5. The measured values of friction pair steel –material D with lubricant

Material	Values of friction torque M [N.m] and friction coefficient $\mu$ on time [sec]									
	30 [sec]		55 [sec]		80 [sec]		130 [sec]		180 [sec]	
	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$	M	$\mu$
D.1	27	0.30	30	0.33	32	0.35	35	0.39	64	0.71
D.2	25	0.28	32	0.35	35	0.39	38	0.42	67	0.74
D.3	20	0.22	29	0.32	29	0.32	37	0.41	62	0.69

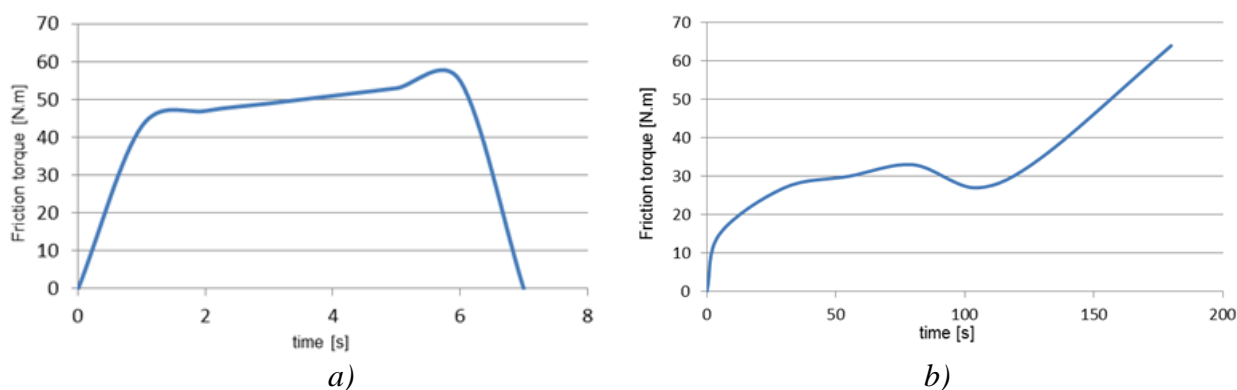
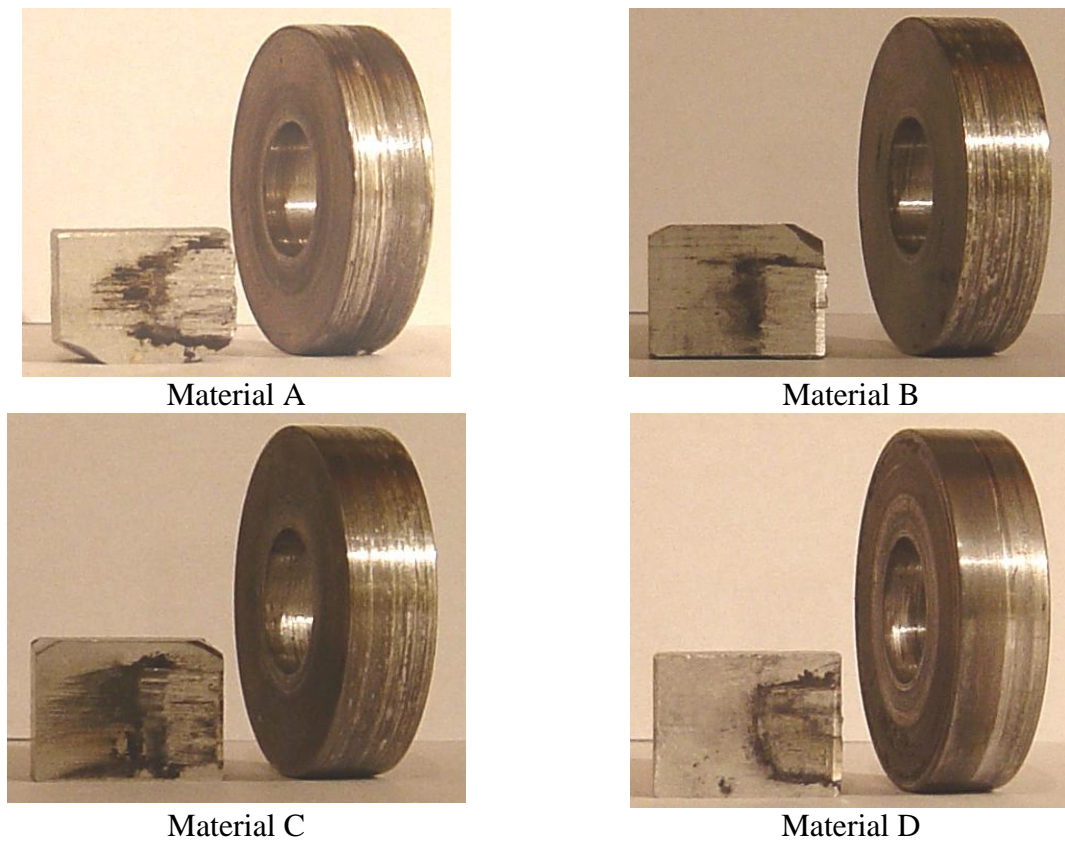


Fig. 7. Curve of friction torque vs. time- sample D.1  
a) without lubrication , b) with lubrication

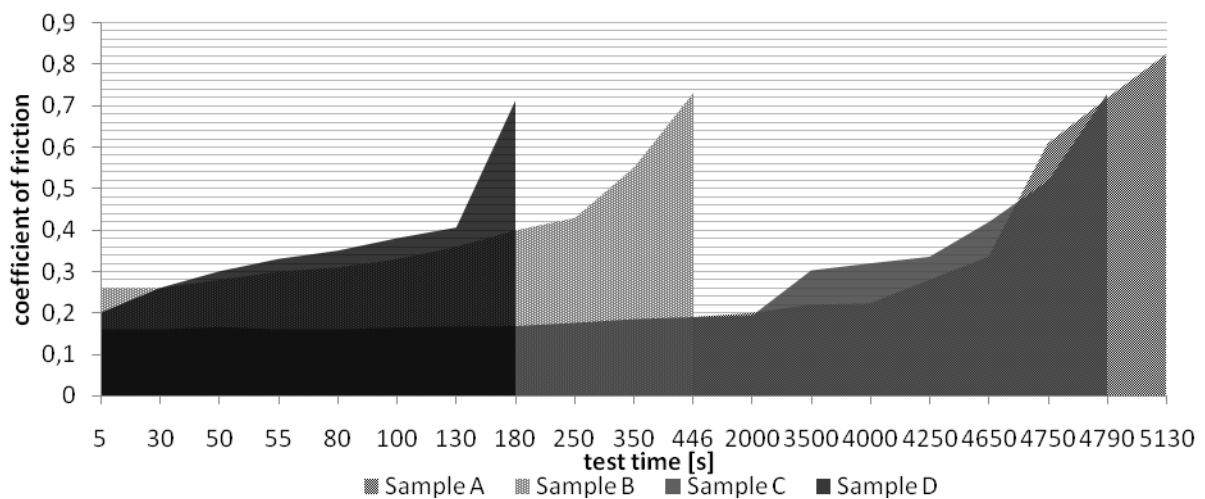
Na rysunku 8 przedstawiono niektóre fotografie próbek każdego rodzaju i dysku ciernego po przeprowadzonych testach zużycia ściernego z użyciem oleju, jako środka smarnego.





*Fig. 8. Tested materials after wearing test*

Proporcje pomiędzy wartościami współczynnika tarcia dla różnych próbek w odniesieniu do czasu trwania pomiarów przedstawiono na rysunku 9.



*Fig. 9. The progress of the friction coefficient in dependence on the time*

## 5. Podsumowanie

Badania wykazały, że trwałość konstrukcji wymiennych części form wtryskowych wykonanych ze stopów aluminium (materiałów kolorowych) można znacząco poprawić poprzez modyfikację składu materiału.

Na podstawie przeprowadzonych badań, można stwierdzić, że:

- Czyste aluminium, tzn. materiał EN AW-1100 (materiał D) zawierający 98,5% aluminium, nie posiada odpowiednich właściwości do zastosowania w danej aplikacji konstrukcyjnej. Czas trwania pomiaru do chwili pojawienia się zatarcia oraz wielkości mierzone, które wyznaczono w trakcie testów wskazują, że stopy wysokiej czystości, nie nadają się do wytwarzania elementów konstrukcyjnych części formy narażonych na bezpośredni kontakt z innymi częściami formy przy wzajemnym ich przemieszczaniu się względem siebie podczas eksploatacji formy.

- Stop Al 324.1(materiał B) wykazał lepsze właściwości podczas procesu tarcia niż materiał EN AW-1100. Jednak czasy do momentu zatarcia oraz wartość współczynnika tarcia wskazują, że ten stop również będzie odpowiedni do zastosowania w produkcji form. Materiał zawierał duże ilości cynku, co spowodowało, że wykazywał największą twardość stopu w porównaniu z pozostałymi testowanymi materiałami – około 567 HV.

- Stopy Al 324.0 oraz EN AB 43500 (materiał A oraz C) po testach okazały się najbardziej korzystne pod względem spełnienia warunków eksploatacyjnych wymiennych części form wtryskowych. Oba składy stopów zapewniają wystarczający czas pracy formy.

- Wyniki badań wykazały, że w produkcji wymiennych elementów form również materiał B (stop Al 324.1) będzie mógł mieć zastosowanie. Pod koniec eksperymentu, materiał osiągnął najwyższy współczynnik tarcia materiału oraz najdłuższy czas eksploatacji mierzony aż do zniszczenia powierzchni materiałów. W praktyce, w rzeczywistych warunkach współpracy, części formy nie są obciążane w ten sposób, jak próbki w modelu podczas testów par tarcia. Smarowanie wydłuży czas eksploatacji.

Celem badań było sprawdzenie i potwierdzenie praktycznego wyboru najbardziej odpowiednich materiałów nieżelaznych z dostępnego zakresu materiałów najczęściej stosowanych do produkcji elementów z form wtryskowych. Testowane materiały mogą być stosowane do produkcji wymiennych części form wtryskowych z przeznaczeniem do przetwórstwa tworzyw polimerowych i zapewnienia możliwie najdłuższego czasu eksploatacji formy bez awarii przy produkcji małoseryjnej.

### **Acknowledgement**

This paper is the result of the project PIRSES-GA-2010-269177 supported by The international project realized in range of Seventh Frame Programme of European Union (FP7), Marie Curie Actions, PEOPLE and the result of the project ITMS: 26220120060 supported by the Research &Development Operational Programme funded by the ERDF.

### **References**

1. Blaškovič P., Balla J., Dzimko M.: Tribológia. Bratislava: Alfa, 1990.
2. Galetz, M., Seiferth, S., Theile B., Glatzel U.: Potential for adhesive wear in friction couples of UHMWPE running against oxidized zirconium, titanium nitride coatings, and cobaltchromium alloys. Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials 2010; 93B(2): 468-475.
3. Garbacz T., Sikora J. W.: Selected aspects of coatings production in cellular co-extrusion process. The Polymer Processing Society. Banff, Canada 2010, R01-131.
4. Greškovič F., Dulebová L., Varga J.: Technológia spracovania plastov. Vstrekovanie. Košice: Sjf TU v Košiciach, 2010.
5. Greškovič F., Spišák E.: Materiály foriem na spracovanie plastov. Acta Metallurgica Slovaca 2003; 9: 41-48.
6. Hidveghy J., Dusza J.: Nekovové konštrukčné materiály. Košice: TU v Košiciach, 1998.
7. Jachowicz T.: Wybrane zagadnienia niezawodności obiektów technicznych. Przetwórstwo tworzyw 2009; 2(128): 34-45.

8. Kelly, L., Mulvaney-Johnson, R., Beechey, P.: The effect of copper alloy mold tooling on the performance of the injection molding process. *Polymer Engineering & Science* 2011; 51(9): 1837–1847.
9. Mandal D., Dutta B. K., Panigraha S. C.: Wear and friction behavior of stir cast aluminium-base short steel fiber reinforced composites. *Wear* 2004; 7–8(257): 654–664.
10. McKellop, H., Clarke, I., Markolf, K., Amstutz, H.: Friction and wear properties of polymer, metal, and ceramic prosthetic joint materials evaluated on a multichannel screening device. *Journal of Biomedical Materials Research* 2004; 15(5): 619–653.
11. Michaeli, W., Lindner F.: Influence of Mould Materials on the Morphological and Mechanical Properties of Injection-Moulded Prototypes. *Macromolecular Materials and Engineering* 2001; 286(4): 232–236.
12. Суберляк О. В., Красінський В. В., Шаповал Й. М.: Прес-матеріали на основі комбінованого зв'язувального. Технологічні та експлуатаційні характеристики. *Хімічна промисловість України* 2009; 3: 52–54.
13. Štofko M., Štofková M. *Neželezné kovy*. Košice: Emilie, 2005.
14. Wojciechowski Ł., Nosal S.: The application of free surface energy measurement to valuation of adhesive scuffing. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2010; 1(45): 83-90.
15. Xu, J.: *Materials for Microcellular Injection Molding*. Microcellular Injection Molding. London: Wiley, 2010.