

Dobór materiału na elementy robocze maszyn pracujących w oczyszczalniach ścieków komunalnych

Choice of material for the working parts of machines operating in municipal wastewater treatment plants

Waldemar Uhl¹, Krzysztof Jaśkowiec¹

¹ Instytut Odlewnictwa, Zakład Stopów Żelaza, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków

¹ Foundry Research Institute, Department of Ferrous Alloys, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, Poland

E-mail: waldemar.uhl@iod.krakow.pl

Streszczenie

W części badawczej zaproponowano kilka rodzajów tworzyw (żeliwo ADI – które poddano czterem rodzajom obróbki cieplnej, staliwo manganowe oraz staliwo niklowo-miedziowe), zastosowanie których powinno zapewnić odpowiednią trwałość roboczych elementów maszyn pracujących w oczyszczalniach ścieków, przy jednoczesnym obniżeniu ich ceny.

Omówiono pokrótce te tworzywa. Opracowano technologię wykonania form na przedmiotowe elementy. Przeprowadzono obróbkę wykańczającą wykonanych odlewów. Dokonano pomiaru twardości, następnie odlewy przekazano do pracy w oczyszczalni ścieków, gdzie po ich zamontowaniu prowadzone były badania eksploatacyjne.

Słowa kluczowe: innowacyjne materiały i technologie odlewnicze, stopy odporne na zużycie, właściwości mechaniczne, żeliwo ADI, przerzucarka, ochrona środowiska

Abstract

In the research part of this study, several types of materials were proposed, including ADI (Austempered Ductile Iron) subjected to four different types of heat treatment, using cast manganese steel and cast nickel-copper steel. The use of these materials should provide adequate performance life to machine parts operating in wastewater treatment plants while also reducing the cost of manufacture.

The selected materials were briefly discussed. A mould making technology was developed to make the respective cast parts. Castings were subjected to a finishing treatment and after hardness measurements were transferred to a wastewater treatment plant, where they were assembled to carry out the field tests.

Keywords: innovative foundry materials and technologies, wear resistant alloys, mechanical properties, ADI, turning machine, environmental protection

1. Wprowadzenie

Celem pracy było wykonanie próbnej partii odlewów pracujących elementów przerzucarki, czyli maszyny do przerzucania przyzm, tzw. lemiesz, z tworzywa o porównywalnych właściwościach z dotychczas stosowanymi oraz obniżenie kosztów tych elementów.

W dotychczasowych działaniach wielokrotnie spotykaliśmy się z urządzeniami, w których słabymi ogniwami były pracujące elementy maszyn i urządzeń oraz ich wysoka cena. Miało to miejsce w takich urządzeniach, jak np. lemiesz do pługów dla rolnictwa oraz tuleje do kombajnów węglowych. Zastosowanie na te elementy maszyn i urządzeń odpowiedniego tworzywa umożliwia-

1. Introduction

The aim of the study was to make a trial batch of castings of the working parts (paddles) of a machine for turning the triangular heaps, using a material comparable in respect of properties to the materials used so far and, additionally, offering a lower price for the ready components.

In the studies made so far, machines and devices were often tested in which the weak links were the properties of some working parts and the high cost of their manufacture. This situation occurred, for example, in ploughshares for agricultural industry and pockets for coal shearers. In such situations, the use of more ap-

ło uzyskanie odpowiedniej ich trwałości oraz obniżenie kosztów.

Do badań wytypowano żeliwo ADI, które jest tworzywem o wyjątkowej zależności właściwości mechanicznych i plastycznych, mogącym w wielu przypadkach zastąpić niektóre staliwa czy żeliwa. Instytut Odlewnictwa propaguje zastosowanie żeliwa ADI na różne odlewy pracujące w trudnych warunkach eksploatacyjnych.

Jako materiały alternatywne zastosowano w badaniach staliwo manganowe i staliwo niklowo-miedziowe.

W Stanach Zjednoczonych i kilku krajach rozwiniętych żeliwo ADI jest szeroko stosowane do produkcji elementów maszyn i urządzeń w przemyśle samochodowym, rolniczym, zbrojeniowym, kolejnictwie i budownictwie np. na zębaki, korbowały, jak i wiele innych odlewanych elementów.

W Polsce trwają prace mające na celu wdrożenie żeliwa sferoidalnego ausferytycznego do produkcji elementów maszyn rolniczych [1]. Wprowadzenie tego tworzywa na szerszą skalę jest jednak utrudnione z powodu konieczności zastosowania linii składającej się z pieca do austenitizowania i wanny solnej. W Polsce zainstalowane są tylko dwie takie linie, w tym jedna w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie.

Na rysunku 1 przedstawiono przetrucarkę służącą do przetrucania typowych przyzmy trójkątnych.

appropriate materials for the troublesome components of machines and equipment usually allowed obtaining the required performance life at a lower price.

For tests, the austempered ductile iron (ADI) was chosen as a material with exceptional mechanical and plastic properties, which in many cases can successfully replace some grades of cast steel or cast iron. The Foundry Research Institute promotes the use of ADI for various castings operating under harsh conditions.

The alternative materials used in the present studies were cast manganese steel and cast nickel-copper steel.

In the United States and other developed countries, ADI is widely used for the manufacture of parts of machinery and equipment operating in the automotive industry, agriculture, armaments, railways and construction, to mention as an example parts such as racks and connecting rods, as well as other numerous cast components.

In Poland, work is underway to implement ausferritic ductile iron in the production of farm machines [1]. However, every attempt to introduce this material on a large scale has to cope with some difficulties, because of the need to use special installations composed of an austenitizing furnace and a salt bath. In Poland, there are only two such lines installed, of which one is operating at the Foundry Research Institute in Cracow.

Figure 1 shows a device used for turning typical triangular heaps.



a)



b)

Rys. 1. Przerucarka podczas pracy (a), przyzmy trójkątne (b) [2]

Fig. 1. The turning machine during operation (a), a triangular heap (b) [2]

Podczas pracy maszyny dwa zbieracze przed ramą przesuwają i przewracają materiał od kolejn jezdnych do środka maszyny, gdzie materiał jest przejmowany przez obracający się wirnik i wyrzucany do tyłu. W czasie tych procesów następuje również rozdrabnianie dużych grud. Poprzez wyrzucanie materiału powstaje nowa, dobrze napowietrzona przyzma.

Elementem roboczym przetrucarki są obrotowe wirniki z umocowanymi na ich zewnętrznej powierzchni elementami roboczymi, tzw. lemieszami – rysunek 2.

During operation, two collectors placed ahead of the frame, shift and roll over the material in the direction from the driving track towards the machine interior, where this material is seized by a rotating rotor and then disposed to the rear. This sequence of operations also includes the crushing of large lumps. By disposing the material to the rear, a new well-aerated heap is formed.

The chief components of the turning machine are rotating rotors provided with working parts, which are paddles fastened to the rotor outer surface (Fig. 2).



Rys. 2. Lemiesze na wirniku obrotowym przegrucarki
Fig. 2. Paddles on the rotating rotor of a turning machine

Maszyny te wykorzystywane są w oczyszczalniach ścieków oraz na składowiskach odpadów komunalnych. Jednym z głównych ich zadań jest mieszanie materiałów organicznych, takich jak: słoma, trawa, siano itp. z półpłynnym materiałem otrzymywanym z procesu oczyszczania ścieków komunalnych, po ich odpowiedniej przeróbce, z glebą i dodatkami uszlachetniającymi w celu otrzymania nawozu mineralnego przydatnego w rolnictwie [3].

2. Metodyka badań i uzyskane wyniki

Zainteresowana pozyskaniem odlewanych elementów oczyszczalnia przekazała oryginalny lemiesz, który został wykorzystany jako model do wykonania matrycy pod kątem zaproponowanej technologii formy (technologia wytapianych modeli). Gumowa matryca umożliwiła uzyskanie szeregu modeli woskowych o wymaganym kształcie. Po połączeniu modeli w zestawy wykonano formy, nanosząc kolejno sześć warstw ceramicznych.

Mieszanka ceramiczna do zanurzania zestawu składała się ze spoiwa Ekosil i mączki kwarcowej w stosunku 1 : 2. Do posypywania powłok stosowano najpierw drobnoziarnisty, a na kolejne warstwy gruboziarnisty piasek kwarcowy. Po wyschnięciu ostatniej powłoki ceramicznej formę wytapiano w autoklawie ciśnieniowym w atmosferze pary przegrzanej do temperatury 120°C.

Na jednym zestawie do zalewania metalem znajdowały się cztery modele. Wykonano 12 zestawów form. Zestawy umieszczano w pojemnikach metalowych i obciążano piaskiem.

Przy wyborze tworzywa, do zastosowania jako materiał na odlewy lemieszy, kierowano się przede wszystkim jego bardzo dobrymi właściwościami mechanicznymi, takimi jak twardość, wytrzymałość na rozciąganie w połączeniu ze stosunkowo dobrą plastycznością oraz odpornością na ścieranie.

Wytypowano następujące rodzaje stopów:

These machines are used in municipal wastewater treatment plants and solid waste landfills. Their main task is to mix organic materials, such as straw, grass, hay, etc. with the semi-liquid processed material from a wastewater treatment plant and then with the soil and refining agents added to obtain mineral fertilizers useful in agriculture [3].

2. Research methodology and results obtained

A wastewater treatment plant interested in acquiring the cast components provided an original paddle, which was used as a model to make a mould for the proposed casting technology, i.e. the investment casting process. The use of a rubber mould allowed making a number of wax patterns of the desired shape. After combining the wax patterns into clusters, proper moulds were made by successive application of the six layers of a ceramic slurry.

The ceramic slurry in which the pattern clusters were immersed was composed of an Ekosil binder and quartz powder mixed in a ratio of 1 : 2. The coating material was a fine-grained particulate applied to the first facing layer, while further backing layers were made of coarse quartz sand. After drying of the last ceramic coating, patterns were melted out from the mould in a pressure autoclave in an atmosphere of steam superheated to 120°C.

One cluster designed for metal pouring included four patterns. In total, twelve mould assemblies were made. They were placed in metal containers and supported with sand.

In selection of material for the cast paddles, the first concern was to obtain very high mechanical properties, such as hardness and tensile strength, combined with a relatively good mouldability and abrasion resistance.

Finally, the following types of alloys were selected:

- żeliwo ADI po różnych rodzajach obróbki cieplnej – jako tworzywo główne,
- staliwo manganowe,
- staliwo niklowo-miedziowe.
- ADI subjected to different types of heat treatment – the main material,
- cast manganese steel,
- cast nickel-copper steel.

Wytopy realizowano w piecu indukcyjnym Radyne o pojemności 60 kg. Wykonano dwa wytopy żeliwa sferoidalnego, z których odlano 32 sztuki odlewów. Wykonano również dwa wytopy staliwa, uzyskując po 4 sztuki odlewów. Austenityzację przeprowadzono w piecu komorowym N41/M Multitherm, hartowanie izotermiczne odbywało się w wannie solnej typu PEW-2 w mieszaninie soli sodowo-potasowej.

Melting was carried out in a 60 kg capacity Radyne induction furnace. Two ductile iron melts were made and were used for casting of 32 test pieces. Two steel melts were also made to produce 4 cast test pieces. The austenitizing treatment was conducted in an N41/M Multitherm chamber furnace, while for austempering a PEW-2 salt bath tank with a mixture of sodium-potassium salt was used.

Na rysunku 3 przedstawiono zestaw odlanych lemiesz.

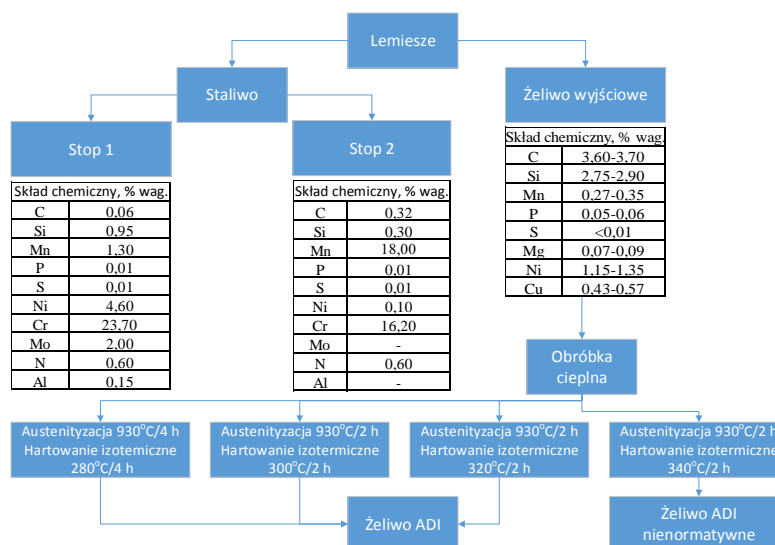
Figure 3 shows a set of cast blades.



Rys. 3. Zestaw odlanych lemiesz
Fig. 3. A set of cast blades

Skład chemiczny staliwa, żeliwa sferoidalnego, jak i zastosowaną obróbkę cieplną żeliwa przedstawiono na rysunku 4.

Figure 4 shows the chemical composition of cast steel and ductile iron, and the type of applied heat treatment.



Rys. 4. Skład chemiczny i obróbka cieplnych badanych tworzyw
Fig. 4. Chemical composition and heat treatment of the examined materials

Odlewów lemieszki ze staliwa nie obrabiano cieplnie. Na [rysunku 5](#) przedstawiono pojedynczy lemiesz. Wymiary montowanych lemieszki wynosiły 145 mm × 118 mm × 10 mm.

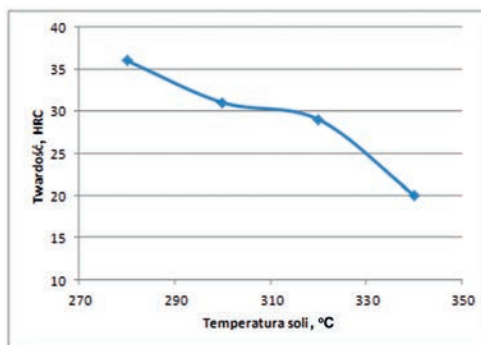
The cast steel paddles were not heat treated. [Figure 5](#) shows a single paddle. The dimensions of the assembled paddles were 145 mm × 118 mm × 10 mm.



Rys. 5. Fotografia pojedynczego lemieszki
Fig. 5. Photograph of a single paddle

Badania właściwości mechanicznych ograniczono na tym etapie badań do pomiarów twardości odlewów, które wykonano na powierzchniach pracujących lemieszki. Dla żeliwa ADI wyznaczono dodatkowo wpływ temperatury hartowania na twardość – [rysunek 6](#) [4]. Korzystając ze znormalizowanych wartości twardości lemieszki, określono gatunek żeliwa ADI. Żeliwo hartowane izotermicznie w temperaturze 340°C wykazywało twardość na poziomie 20 HRC, czyli poniżej znormalizowanej dolnej granicy gatunku EN-GJS 800-10.

At this stage of the study, testing of mechanical properties was limited to the casting hardness measurements taken on the working surfaces of the paddles. For ADI, the effect of austempering temperature on hardness was additionally determined ([Fig. 6](#)) [4]. Based on the standard hardness values of paddles, the ADI grade was determined. The cast iron austempered at 340°C showed a hardness of 20 HRC, which is less than the lower limit established for the standard EN-GJS 800-10 grade.



Rys. 6. Wpływ temperatury hartowania izotermicznego na twardość
Fig. 6. Hardness vs austempering temperature

Przeprowadzono również badania jakościowe polegające na oględzinach powierzchni zewnętrznych pod kątem wad powierzchniowych oraz badania rentgenowskie.

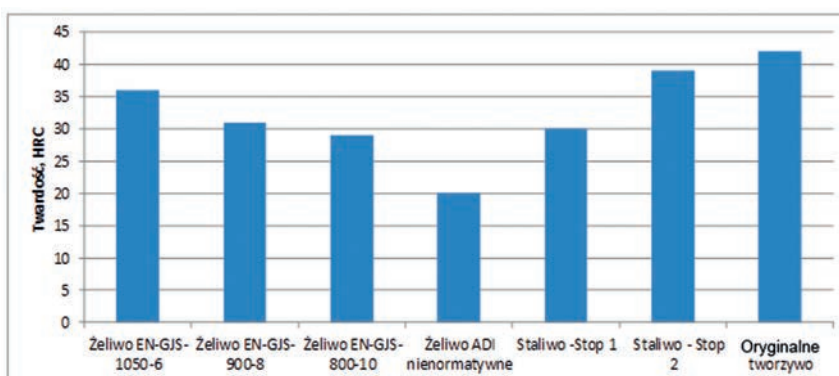
W trakcie oględzin powierzchni zewnętrznych odlewów nie stwierdzono występowania wad dyskwalifikujących, a jedynie drobne nakłucia i żyłki. Wady te zostały usunięte podczas obróbki wykańczającej. W badaniach rentgenowskich nie ujawniono istotnych wad wewnętrznych dyskwalifikujących wykonane odlewy.

Qualitative studies were also conducted involving inspection of the external surfaces of castings and X-ray examinations to detect for the possible occurrence of surface defects.

The inspection of the external casting surfaces did not reveal any disqualifying defects, only some minor pinholes and veins were observed, but they were removed during the finishing treatment. X-ray examinations also confirmed the absence of any major internal defects, which would disqualify the tested castings.

Wyniki pomiaru twardości wszystkich tworzyw wytypowanych w początkowym etapie projektu przedstawiono na [rysunku 7](#).

The results of hardness measurements taken on all materials selected in the initial stage of the project are shown in [Figure 7](#).



Rys. 7. Twardość badanych tworzyw

Fig. 7. Hardness of the examined materials

Pomiar twardości żeliwa ADI hartowanego izotermicznie w różnej temperaturze pokazuje stosunkowo niewielką zmianę twardości przy wzroście temperatury z 300°C do 320°C wynoszącą około 2 HRC. Największą twardość żeliwa – wynoszącą 36 HRC – osiągnięto, hartując je w temperaturze 280°C. W przypadku żeliwa obrabianego cieplnie w temperaturze 340°C osiągnięto twardość 20 HRC. Niska twardość tego żeliwa mogła wynikać z częściowej przemiany austenitu podczas podchładzania (przeniesienia próbek z pieca do wanny solnej) lub zbyt długiego czasu hartowania izotermicznego w temperaturze 340°C.

Na podstawie uzyskanych wyników badań twardości do badań eksploatacyjnych wytypowano odlewy wykonane z żeliwa ADI hartowanego w temperaturze 280°C. Odlewy przekazano do oczyszczalni ścieków, gdzie zostały zamontowane w maszynie do przerzucania pryzm trójkątnych według stosowanych zwykle harmonogramów przestawiania lemiesz na wirniku.

W początkowym okresie pracy odlewów (cztery miesiące, około 400 motogodzin) całkowitemu zniszczeniu uległ jeden odlew lemiesz z żeliwa. Pozostałe odlewy ulegały prawidłowemu zużyciu eksploatacyjnemu i pozostają w dalszej eksploatacji.

Porównując cenę oryginalnego lemiesz z kosztami jego wykonania w Instytucie Odlewnictwa, stwierdzono, że można obniżyć jego cenę od 20% do 40%.

3. Wnioski

1. W wyniku przeprowadzonej pracy wykonano partię próbną odlewów elementów roboczych tzw. lemiesz maszyny do przerzucania pryzm wykorzystywanych zarówno w oczyszczalniach ścieków, jak i na składowiskach odpadów komunalnych.

The measurements of ADI hardness taken at various temperatures show a relatively small change in the values of this parameter (about 2 HRC) with the temperature increase from 300°C to 320°C. The highest hardness of 36 HRC was obtained in the cast iron austempered at 280°C; in the cast iron heat treated at 340°C hardness dropped to 20 HRC. In the latter case, the low hardness of the cast iron might be due to partial transformation of austenite during cooling to intermediate temperature (transfer of samples from the furnace to the bath salt) or to an excessively long time of austempering at a temperature of 340°C.

Based on the results of the hardness tests, for the field tests were selected ADI castings austempered at 280°C. These castings were transferred to a wastewater treatment plant, where they were installed in a machine for turning the triangular heaps, following a commonly applied schedule of the paddles adjustment on a rotor.

In the initial period of casting operation (four months and about 400 operating hours), one cast iron paddle suffered total failure. Other castings showed standard wear and tear behaviour and were left for further operation.

Comparing the price of the original paddle with the cost of its manufacture at the Foundry Research Institute it was calculated that the cost savings of 20% to 40% were quite realistic.

3. Conclusions

1. As a result of the conducted studies, a test batch of castings was made. The test castings were the working parts (paddles) of a machine for turning the triangular heaps used in both municipal wastewater treatment plants and solid waste landfills.

- | | |
|---|---|
| <p>2. Wstępne badania eksploatacyjne świadczą pozytywnie o trwałości zaproponowanego nowego tworzywa (żeliwo EN-GJS-1050-6) i jego technologii wytwarzania.</p> <p>3. Powyższe badania wykazały, że przy zastosowaniu żeliwa ADI do produkcji małoseryjnej można obniżyć koszty elementów roboczych o około 20–40%.</p> | <p>2. Preliminary field tests gave positive results regarding the performance life of the proposed new material (EN-GJS-1050-6 cast iron) and its manufacturing technology.</p> <p>3. Studies have proved that by using ADI in small-lot production it is possible to reduce the cost of working parts by about 20–40%.</p> |
|---|---|

Podziękowania

Publikacja powstała w oparciu o wyniki badań pracy statutowej pt. „Dobór tworzywa, opracowanie technologii wytwarzania elementów pomp odpornych na ścieranie pracujących w oczyszczalniach ścieków” (5023/00). Autorzy składają podziękowania dyrekcji Spółki Wodno-Ściekowej „Swarzewo” za umożliwienie przeprowadzenia badań eksploatacyjnych wykonanych odlewów.

Acknowledgements

The content of this publication has been based on the results of a statutory work entitled: “The choice of material and development of technology for the fabrication of abrasion resistant pumps operating in wastewater treatment plants” (5023/00). The authors wish to thank the Management of “Swarzewo” Water and Sewage Company for their kind permission to make the performance tests on the ready castings.

Literatura/References

1. Pirowski, Z., Olszyński, J., Tybulczuk, J., Gościański, M. (2006). Innowacyjne tworzywa odlewnicze na elementy maszyn rolniczych podnoszące konkurencyjność wyrobów finalnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika*, 66(227), 205–216.
2. <http://green.radom.zdz.kielce.pl> [dostęp: 01.07.2015].
3. Zasady budowy i działania przernucarki Backhus.
4. Uhl, W. (2006). Dobór tworzywa, opracowanie technologii wytwarzania elementów pomp odpornych na ścieranie pracujących w oczyszczalniach ścieków. Praca statutowa. Kraków: Instytut Odlewnictwa.
5. PN-EN 1564:2012 Odlewnictwo – Żeliwo sferoidalne ausferytyczne.

