

Dobór technologii formy dla zmodyfikowanej metody ablacyjnego odlewania

Choice of mould-making technology for the modified ablation casting process

Irena Izdebska-Szanda¹, Michał Angrecki¹, Aleksander Palma¹

¹*Instytut Odlewnictwa, Zakład Technologii, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków*

¹*Foundry Research Institute, Department of Technology, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Krakow, Poland*

E-mail: irena.szanda@iod.krakow.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki prób i badań przeprowadzonych z różnymi dodatkami do mas formierskich opartych o wodorozpuszczalne spoiwa nieorganiczne do ablacyjnego wybijania. W wyniku przeprowadzonych badań technologicznych i prób stanowiskowych wytypowano skład masy, zapewniającej dobrą jakość odlewów i skuteczne wybijanie form z zastosowaniem chłodzenia ablacyjnego. Opracowany skład masy zapewnia odpowiednio dużą wytrzymałość wykonywanych form i jednocześnie masa ta jest podatna na destrukcyjne działanie medium chłodzącego (wody). Przeprowadzone próby dają zadowalające wyniki i dają nadzieję na możliwość stosowania tej metody w przemyśle.

Słowa kluczowe: ablacja, destrukcja formy, spoiwa wodorozpuszczalne

Abstract

The article presents the results of tests and studies carried out within the framework of statutory activities on various additives to moulding sands based on water-soluble inorganic binders for ablative knocking out of castings. As a result of technological research and bench tests, the composition of moulding sand providing high quality castings and easy knocking out of moulds combined with ablative cooling was selected. The developed moulding sand composition produces moulds which not only possess the required high strength but are also susceptible to the destructive effect of a cooling medium (water). The results of conducted experiments are satisfactory and raise hope as to further possible use of this method in the industry.

Keywords: ablation, mould destruction, water-soluble binders

1. Wprowadzenie

Celem podjęcia prac badawczych było opracowanie zmodyfikowanej technologii wykonywania form do odlewania ablacyjnego. Analiza dostępnych źródeł literaturowych wskazuje, że odlewy wykonywane wg tej technologii (w formach piaskowych) zarówno ze stopów aluminium, jak i magnezu charakteryzują się zwiększonymi właściwościami mechanicznymi, zbliżonymi do tych, które uzyskuje się w formach metalowych (kokilach). Dla uzyskania założonych parametrów fizykochemicznych odlewów istotą modyfikacji procesu jest dobór składu mas formierskich, medium chłodzącego i parametrów technologicznych umożliwiających destrukcję formy piaskowej.

W procesie odlewania ablacyjnego [1–4] wykorzystywane są jednorazowe formy piaskowe ze specjalnymi wypełniaczami i wodorozpuszczalnymi spoiwami. Ciekły stop wlewany jest do formy odlewniczej i w czasie gdy

1. Introduction

The aim of the research described in this article was to develop a modified technology for the manufacture of moulds used in the ablation casting process. A review of the available literature has indicated that castings made by this technology (sand moulding) from both aluminium and magnesium alloys are characterized by improved mechanical properties, similar to those obtained in metal moulds (permanent moulds). To obtain the required physical and chemical parameters of castings, the essence of the process modification consisted in proper selection of moulding sand composition, cooling medium and technological parameters allowing the sand mould destruction.

The ablation casting process [1–4] uses disposable sand moulds with special fillers and water-soluble binders. Molten metal is poured into a foundry mould and while it is still in a partially liquid state, the mould

pozostaje on jeszcze w stanie ciekłym, forma z pewnej odległości jest obmywana strumieniami medium chłodzącego (np. wody).

Forma odlewnicza sukcesywnie podlega destrukcji, umożliwiając bezpośredni kontakt wody z powierzchnią odlewu, eliminując tym samym szczelinę powietrzną, ograniczającą przepływ ciepła na zewnątrz.

Metoda ta została opatentowana przez firmę Alotech w 2006 roku. W patencie [5] zastrzeżono dokładnie technologię wykonywania odlewów poczynając od materiału na formę, rodzaju spoiwa, medium chłodzącego, aż po parametry technologiczne, takie jak np. ciśnienie i wydatek medium chłodzącego.

Istotnym zagadnieniem z punktu widzenia destrukcji formy podczas jej obmywania medium chłodzącym jest dobór masy formierskiej, która powinna charakteryzować się na tyle dużą wytrzymałością, aby mogła przenosić ciśnienie hydrostatyczne ciekłego metalu i jednocześnie była podatna na działanie destrukcyjne medium chłodzącego. Dlatego celem prowadzonych prac badawczych było wytypowanie składu masy do prób ablacyjnego wybijania form i rdzeni przez dobór odpowiedniego spoiwa i dodatków poprawiających wybijalność oraz metody wiązania.

Przy doborze rodzaju spoiwa należy uwzględnić konieczność jego stosunkowo łatwego rozpuszczania w wodzie i braku reakcji z ciekłym stopem aluminium.

Nowoczesne spoiwa nieorganiczne, w tym opracowane w Instytucie Odlewnictwa [6–9] opierają się na krzemianach nieorganicznych, utwardzanych czynnikami fizycznymi lub chemicznymi. Ze względu na ich charakterystyczną cechę, jaką jest wodorozpuszczalność, mogą być one wykorzystane w metodzie ablacyjnego odlewania.

2. Badania własne

Do prób ablacyjnego wybijania form i rdzeni wytypowane zostały opracowane w Instytucie Odlewnictwa spoiwa krzemianowe i dodatki poprawiające łatwość wybijania, metody ich wiązania oraz wodorozpuszczalne dodatki polimerowe do chłodziwa stosowanego przy wybijaniu.

3. Badania technologiczne mas do ablacyjnego wybijania

Do badań wytypowano modyfikowane chemicznie spoiwo krzemianowe A, utwardzane flodurem (dwuoctanem glikolu etylenowego) i CO₂.

W związku z wcześniej prowadzonymi pracami w Instytucie Odlewnictwa, jako dodatki do masy, ułatwiające ablacyjne wybijanie zastosowano:

is washed from a distance with the jets of coolant (e.g. water).

The mould is gradually undergoing the process of destruction, allowing water to enter into direct contact with the surface of the casting, which eliminates the air gap and limits the heat transfer to the outside.

The method was patented by Alotech in 2006. The patent [5] exactly claimed the technology of making castings, starting from the mould material, the type of binder and cooling medium, and in the technological parameters, such as the coolant pressure and flow rate, ending.

Examining this process in terms of the mould destruction when washed with the cooling medium, an important problem emerges and it is the selection of moulding sand, which should have the strength sufficiently high to withstand and transfer of the hydrostatic pressure of molten metal, while being, at the same time, sufficiently susceptible to the destructive action of the cooling medium. Therefore the aim of the conducted research was to establish the composition of moulding sands for the ablation knocking out of moulds and cores, selecting the optimum binder and additives while improving the sand collapsibility and the optimum sand binding process.

In the selection of binder, its relatively easy dissolution in water and absence of reactions with the liquid aluminium alloy was taken into consideration.

Modern inorganic binders, including those developed by the Foundry Research Institute [6–9], are based on inorganic silicates hardened with physical or chemical agents. Considering their specific characteristics, water solubility included, they seem to be a good candidate for use in the process of ablation casting.

2. Own studies

For tests of the ablative knocking out of moulds and cores, silicate binders and additives enhancing the sand collapsibility, developed by the Foundry Research Institute, were selected along with the binding methods and water-soluble polymer additives to the coolant used in the knocking out operation.

3. Technological tests and studies of the sand mixtures for ablation knocking out of castings

For tests, chemically modified silicate binder A hardened with flodur (ethylene glycol diacetate) and CO₂ was chosen.

Basing on the results of earlier studies carried out at the Foundry Research Institute, the following materials were selected as additives to moulding sands facilitating the ablation knocking out of castings:

- | | |
|--|---|
| a) drobny pył odpadowy pochodzący z odpylania suchego stacji przerobu mas formierskich, | a) fine waste dust originating from dry dedusting of the moulding sand processing plant, |
| b) popiół lotny z elektrociepłowni „Skawina”, charakteryzujący się stosunkową dużą zawartością SiO ₂ i Al ₂ O ₃ oraz średnią zawartością CaO, | b) fly ash from the “Skawina” power plant, characterized by a relatively high content of SiO ₂ and Al ₂ O ₃ and medium content of CaO, |
| c) dodatek E, wysokiej jakości nośnik węgla błyszczącego, | c) additive E, which is a high-quality lustrous carbon carrier, |
| d) dekstryna, produkt wtórnej polimeryzacji skrobi. | d) dextrin, product of the secondary starch polymerization. |

Z wytypowanymi materiałami wykonywane były masy formierskie do badań technologicznych, pozwalających ocenić wpływ zastosowanych dodatków na ich podstawowe właściwości wytrzymałościowe. Udział spoiwa w masie formierskiej ustalono na 2,5 części wagowej w przypadku mas samoutwardzalnych i 3,0 części wagowej w przypadku mas utwardzanych gazowym CO₂. Przyjęty czas utwardzania dwutlenkiem węgla wynosił 20 sekund.

Uśrednione wyniki badań technologicznych zamieszczono w tabeli 1 i na wykresach (rys. 1 i 2).

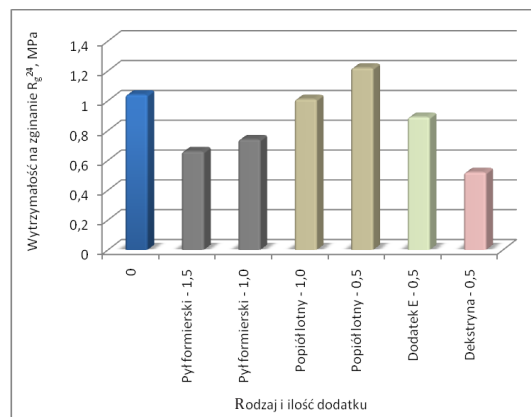
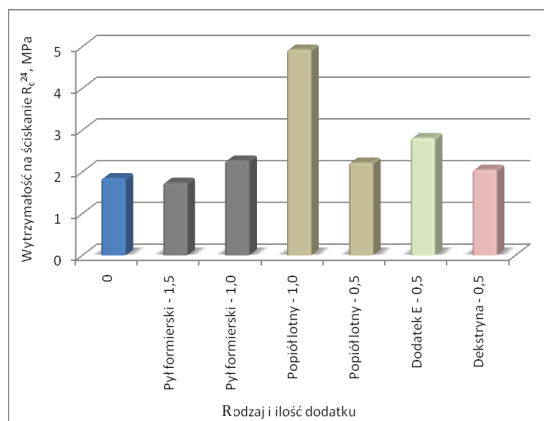
From the selected materials, moulding sands were prepared for technological tests to evaluate the effect of additives on basic mechanical properties of the sand mixtures. The content of binder in the moulding sand was set at 2.5 parts by weight in the case of self-hardening sands, and at 3.0 parts by weight in the case of gaseous CO₂ – hardened sands. The time of hardening with carbon dioxide was 20 seconds.

The averaged results of technological tests are given in Table 1 and in respective graphs (Figs. 1 and 2).

Tabela 1. Właściwości technologiczne mas formierskich do ablacyjnego wybijania

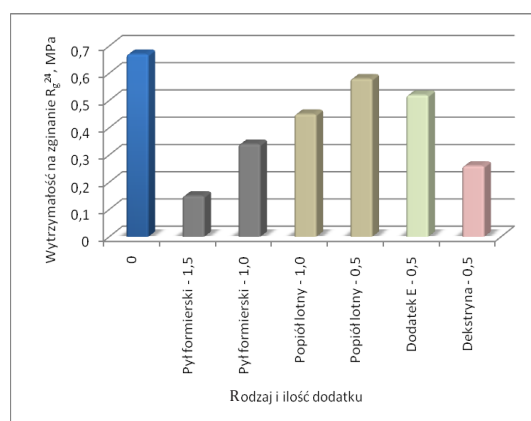
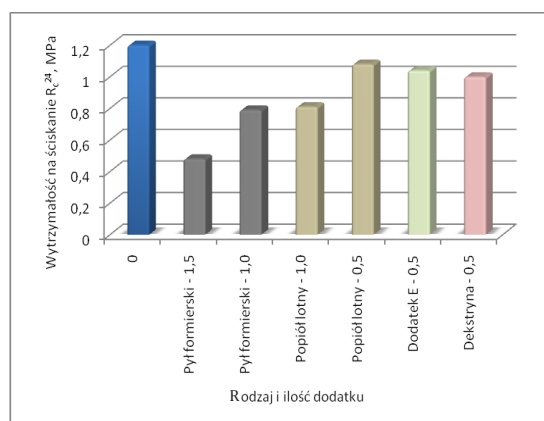
Table 1. Technological properties of moulding sands for ablative knocking out

Lp./No.	Rodzaj i ilość dodatku, cz. wag. / Additive type and content in parts by weight	Przepuszczalność P, 10 ⁻⁸ m ² /Pa·s / Permeability P, 10 ⁻⁸ m ² /Pa·s		Wytrzymałość na ściskanie R _c , MPa / Compressive strength R _c , MPa		Wytrzymałość na zginanie R _g , MPa / Bending strength R _g , MPa	
		3 h	24 h	3 h	24 h	3 h	24 h
Masy samoutwardzalne / Self-hardening sands							
1	0	580	800	0,46	1,85	0,22	1,04
2	Pył formierski / Moulding dust 1,5	830	760	0,37	1,74	0,15	0,66
3	Pył formierski / Moulding dust 1,0	590	650	0,77	2,27	0,25	0,74
4	Popiół lotny / Fly ash 1,0	500	500	0,65	4,93	0,25	1,01
5	Popiół lotny / Fly ash 0,5	650	725	0,62	2,22	0,39	1,22
6	Dodatek E / Additive E 0,5	500	500	0,46	2,81	0,19	0,89
7	Dekstryna / Dextrin 0,5	425	445	0,52	2,05	0,17	0,52
Masy utwardzane CO ₂ / CO ₂ -hardened sands							
8	0	600	800	0,75	1,20	0,40	0,67
9	Pył formierski / Moulding dust 1,5	670	600	0,60	0,48	0,14	0,15
10	Pył formierski / Moulding dust 1,0	400	450	0,91	0,79	0,36	0,34
11	Popiół lotny / Fly ash 1,0	600	550	1,04	0,81	0,23	0,45
12	Popiół lotny / Fly ash 0,5	430	370	0,87	1,08	0,33	0,58
13	Dodatek E / Additive E 0,5	620	550	0,72	1,04	0,15	0,52
14	Dekstryna / Dextrin 0,5	775	840	0,45	1,00	0,13	0,26



Rys. 1. Właściwości wytrzymałościowe mas formierskich samoutwardzalnych do ablacyjnego wybijania

Fig. 1. Mechanical properties of self-hardening moulding sands for ablative knocking out

Rys. 2. Właściwości wytrzymałościowe mas formierskich utwardzanych CO_2 do ablacyjnego wybijaniaFig. 2. Mechanical properties of CO_2 -hardened moulding sands for ablative knocking out

4. Ocena destrukcji nagranych próbek pod wpływem czynnika chłodzącego

Dla przedstawionych powyżej składów mas formierskich przeprowadzono ocenę destrukcji nagranych próbek, pod kątem wpływu czynnika chłodzącego. W badaniach tych, oprócz wody, stosowano polimerowe, wodorozpuszczalne chłodziwo hartownicze PhE8.

Polimerowe chłodziwa hartownicze, rozpuszczalne w wodzie, mogą być wykorzystane jako dodatek do wody, do chłodzenia form odlewniczych podczas ablacyjnego wybijania. W naszych badaniach zastosowano polimerowe chłodziwo Polihartenol-E8. Polihartenol-E8 jest niepalnym, wodnym roztworem polimerowych stymulatorów zdolności chłodzącej. Wytworzany jest w postaci koncentratu. Rozcieńczenie koncentratu wodą do stężeń w granicach 12–20% pozwala uzyskać kąpiele hartownicze, których zdolność chłodząca jest najbardziej zbliżona do typowych olejów hartowniczych. Kąpiele o stężeniu <12% posiadają właściwości chłodzące pośrednie pomiędzy olejem a wodą.

4. Evaluation of the collapsibility of heated samples under the influence of cooling medium

For moulding sands of the compositions given above, the collapsibility of heated samples under the impact of the cooling medium was assessed. In the studies, besides water, a PhE8 water-soluble polymer quenching and cooling medium was used.

Water-soluble polymer quenching and cooling media can serve as additives to water for cooling of foundry moulds during ablative knocking out. In this study, a Polihartenol-E8 polymer cooling medium was used. Polihartenol-E8 is a non-flammable aqueous solution of polymers enhancing the cooling capacity. It is produced in a concentrated form. Diluted with water to a concentration of 12–20%, it gives quenching baths whose cooling capacity approaches that of typical quenching oils. Baths of <12% concentration have the cooling properties intermediate between oil and water.

Do badań destrukcji masy pod wpływem chłodziwa wykorzystano naczynie Aulicha do badań higroskopijności. Jako czynnik chłodzący zastosowano zarówno wodę, jak i 10% roztwór Polihartenolu-E8 (PhE8).

Próbki do badań (próbki podłużne do badania wytrzymałości na zginanie) wygrzewane były w temperaturach od 200°C do 500°C w piecu silitowym i po wyjęciu z pieca zalewane strumieniem chłodziwa. Przebieg próby pokazano na zdjęciach poniżej (rys. 3 i 4).

Studies of moulding sand destruction under the impact of the cooling medium were carried out in an Aulich vessel for hygroscopicity testing. Two cooling media were used, i.e. water and 10% solution of Polihartenol-E8 (PhE8).

Test samples (oblong samples for the bending strength test) were baked in a sillite furnace at temperatures from 200°C to 500°C and after removal from the furnace, a jet of the coolant was poured over them. The test run is shown in the pictures below (Figs. 3 and 4).



Rys. 3. Destrukcja nagrzaných próbek pod wpływem czynnika chłodzącego – wody
Fig. 3. Hot test samples undergoing destruction under the impact of a cooling medium – water



Rys. 4. Destrukcja nagrzaných próbek pod wpływem czynnika chłodzącego – 10% roztworu PhE8
Fig. 4. Hot test samples undergoing destruction under the impact of a cooling medium – 10% solution of PhE8

Przebieg prób:

1. Przy wygrzewaniu próbek w temperaturze 200°C i chłodzeniu wodą, część próbek pękała już w trakcie zalewania chłodziwem (2, 8, 9, 13) lub podczas stygnięcia, po zalaniu wodą (3, 10, 14). Kolejne próbki pękały przy wyjmowaniu po przestygnięciu (4, 11, 12, 6 i 7). Tylko próbki 1 i 5 zachowały minimalną wytrzymałość po chłodzeniu ablacyjnym:
 - $R_g(1) = 0,16 \text{ MPa}$
 - $R_g(5) = 0,14 \text{ MPa}$.
2. Przy wygrzewaniu próbek w temperaturze 300°C oraz 400°C i chłodzeniu wodą już tylko próbka 1 (bez dodatków) zachowała minimalną wytrzymałość:

Test run:

1. Baking at 200°C and water cooling made some of the samples collapse immediately upon entering into contact with the coolant (2, 8, 9, 13), or later in the course of the cooling process (3, 10, 14). Other samples were destroyed when removed from the bath after the cooling process (4, 11, 12, 6 and 7). Only samples 1 and 5 preserved their minimum strength after the ablation cooling:
 - $R_g(1) = 0.16 \text{ MPa}$
 - $R_g(5) = 0.14 \text{ MPa}$.
2. After baking at 300°C and 400°C and water cooling, only sample 1 (without additives) preserved its minimum strength:

– w 300°C $R_g(1) = 0,19$ MPa

– w 400°C $R_g(1) = 0,18$ MPa.

3. Przy wygrzewaniu próbek w temperaturze 500°C i chłodzeniu wodą wszystkie próbki pękały, najpóźniej na etapie stygnięcia.
4. Przy wygrzewaniu próbek w temperaturze 200°C i chłodzeniu 10% PhE8 większość próbek pękała już w trakcie i po zalaniu chłodziwem, podczas stygnięcia, a próbki 1, 4 i 5 – przy wyjmowaniu z kąpeli.
5. Przy wygrzewaniu próbek w temperaturze 500°C i chłodzeniu 10% PhE8 próbki pękały najpóźniej na etapie stygnięcia, po zalaniu chłodziwem.

W oparciu o przeprowadzone badania i obserwacje można stwierdzić, że najkorzystniejszymi dodatkami do masy formierskiej, wpływającymi korzystnie na jej wybijalność – przy zachowaniu korzystnych parametrów technologicznych, są popiół lotny i dodatek E.

5. Próby na stanowisku doświadczalnym

Do pierwszych prób ruchowych na doświadczalnym stanowisku wytypowano masy o składzie:

Masa 1:

Piasek	100,00 cz. wag.
Flodur 1	0,25 cz. wag.
Spoiwo A	2,50 cz. wag.
Dodatek E	0,50 cz. wag.

Masa 2:

Piasek	100,00 cz. wag.
Spoiwo A	3,00 cz. wag.
Dodatek E	0,50 cz. wag.
CO ₂	

Pierwsze próby wykonywane były zarówno na osnowie piasku Szczakowa (gruby o frakcji głównej 020/0,40/0,315), jak i na osnowie piasku Grudzeń Las (średni o frakcji głównej 020/0,315/0,16). Kolejne próby wykonywano już tylko na piasku średnim Grudzeń Las.

Wstępne próby ablacyjnego wybijania przeprowadzono bez zalewania form metalem. Ich celem było sprawdzenie poprawności i skuteczności działania opracowanego doświadczalnego urządzenia do ablacyjnego usuwania masy formierskiej i kierunkowego chłodzenia odlewu. Sposób działania urządzenia do usuwania masy formierskiej z odlewu i jego chłodze-

– at 300°C $R_g(1) = 0.19$ MPa

– at 400°C $R_g(1) = 0.18$ MPa.

3. Baking at 500°C and water cooling made all of the samples collapse during the cooling process, at the latest stage of cooling.
4. Baking at 200°C and cooling with 10% PhE8 made most of the samples collapse immediately upon entering in contact with the coolant or soon after, samples 1, 4 and 5 collapsed when removed from the bath.
5. Baking at 500°C and cooling with 10% PhE8 made all of the samples collapse during the cooling process, at the latest stage of cooling.

The results of tests and studies allow concluding that the preferable additives to moulding sands, improving the knocking out properties but, at the same time, preserving the required processing parameters are fly ash and additive E.

5. Tests on a pilot stand

For the first series of tests run on a pilot stand, sands of the following compositions were selected:

Sand no. 1:

Sand	100.00 parts by weight
Flodur 1	0.25 part by weight
Binder A	2.50 parts by weight
Additive E	0.50 part by weight

Sand no. 2:

Sand	100.00 parts by weight
Binder A	3.00 parts by weight
Additive E	0.50 part by weight
CO ₂	

For the first series of trials, sands from the Szczakowa mine (coarse sand with the main fraction of 020/0,40/0,315) and Grudzeń Las mine (medium sand with the main fraction of 020/0,315/0,16) were used. The next series of trials was made only on the Grudzeń Las medium sand.

The initial trials of ablation knocking out were carried out on moulds which were not poured with liquid metal. The aim of those trials was to verify the correctness and effectiveness of operation of the newly developed experimental device for ablation removal of moulding sand and directional cooling of castings. The principle operation of the device for ablation knocking out of moulding

nia według opracowanych założeń przedstawiono w artykule [10].

W badaniach zastosowano następujące parametry pracy urządzenia:

- liczba obrotów – 20 obr/min,
- posuw pionowy – 30 cm/min,
- ciśnienie wody – 12 MPa.

Wykonywane formy wygrzewane były wstępnie w temperaturze 200–300°C. Formy w trakcie procesu ablacyjnego wybijania, przy założonych parametrach pracy urządzenia, rozpadły się, co pokazują fotografie poniżej (rys. 5).

sand and cooling of castings according to the procedure established previously was described in [10].

For studies, the following operating parameters were adopted:

- rotational speed – 20 rev/min,
- vertical feed – 30 cm/min,
- water pressure – 12 MPa.

Moulds were subjected to preliminary baking at a temperature of 200–300°C. In the process of ablation knocking-out, carried out under the preset operating parameters, moulds collapsed as shown in the photos below (Fig. 5)



Rys. 5. Pierwsza próba ablacyjnego wybijania form

Fig. 5. The first trial of ablation knocking out of moulds

Przy wszystkich kolejnych próbach jedna forma zalewana była dla celów porównawczych metodą tradycyjną (bez chłodzenia ablacyjnego). Formy zalewane były stopem AlSi7Mg. Temperatura zalewania wynosiła $700 \pm 10^\circ\text{C}$.

W drugiej próbie procesowi ablacyjnego wybijania poddano cztery formy – dwie utwardzane CO_2 i dwie samoutwardzalne z dodatkiem E w ilości 0,5% wag. Odlewany był pierścień jako przykład odlewu cienkościennego (rys. 6).

In all the subsequent tests, for comparison, one mould was poured by the traditional technique, i.e. without ablative cooling. Moulds were poured with the AlSi7Mg alloy at a temperature of $700 \pm 10^\circ\text{C}$.

In the second series of tests, ablation knocking out was carried out on four moulds – two hardened with CO_2 and two made from the self-hardening sand with additive E introduced in an amount of 0.5 wt.%. The casting ring was made as an example of the thin-walled part (Fig. 6).



Rys. 6. Wykonywanie form z zastosowaniem modelu w kształcie pierścienia

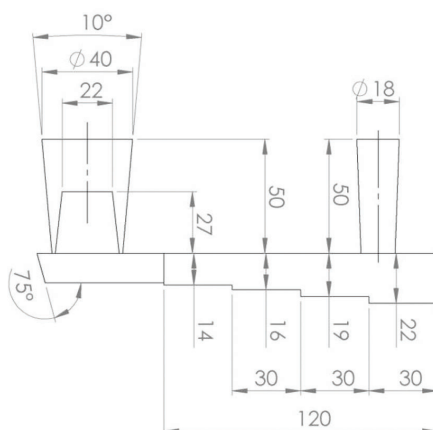
Fig. 6. Moulding from a ring-shaped pattern

Jakość uzyskanych odlewów, szczególnie z mas utwardzanych CO_2 , nie była zadowalająca. Uznano, że ilość stosowanego dodatku E jest zbyt wysoka (zwiększa się osypliwość masy).

The quality of the obtained castings, particularly of those made in the CO_2 -hardened sands, was unsatisfactory. The probable reason was too high amount of additive E raising the sand friability.

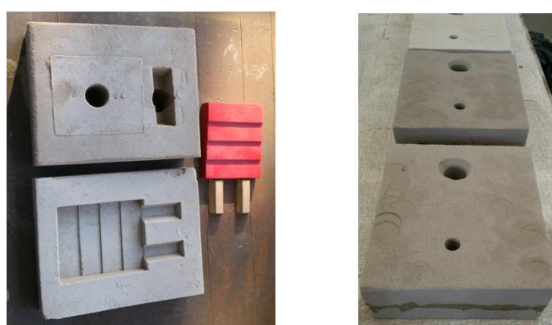
Do kolejnych prób wytypowany został model schodkowy (rys. 7), do odlewania w układzie poziomym. Wykonano po dwie formy utwardzane CO₂ i dwie samoutwardzalne z obniżoną zawartością dodatku E w ilości 0,25% wag. i bez dodatku (rys. 8). Uzyskano odlewy o poprawnej jakości powierzchni, jednakże wystąpiło zjawisko zaciągania metalu.

For the next series of tests, a stepped pattern poured horizontally was selected (Fig. 7). Two moulds were made in the sand hardened with CO₂ and two in the self-hardening sand – one with a low content of additive E (0.25 wt.%), and one without the additive (Fig. 8). Castings with a satisfactory surface quality were obtained, but the adverse effect of metal penetration occurred.



Rys. 7. Model schodkowy – ustawienie poziome

Fig. 7. The stepped pattern placed in a horizontal position



Rys. 8. Formy do wykonywania odlewów schodkowych – ustawienie poziome

Fig. 8. Moulds for stepped castings placed horizontally

Dlatego do kolejnych prób zmieniono układ wlewy. Ze względu na osypliwość form, wykonywano już tylko masy samoutwardzalne (z dodatkiem E w ilości 0,25% wag.), które zapewniały lepszą jakość form, a co za tym idzie i odlewów. Zaobserwowano poprawę – mniejsze zaciąganie metalu. Przebieg próby ablacyjnego wybijania form schodkowych w ustawieniu poziomym pokazano na rysunku 9.

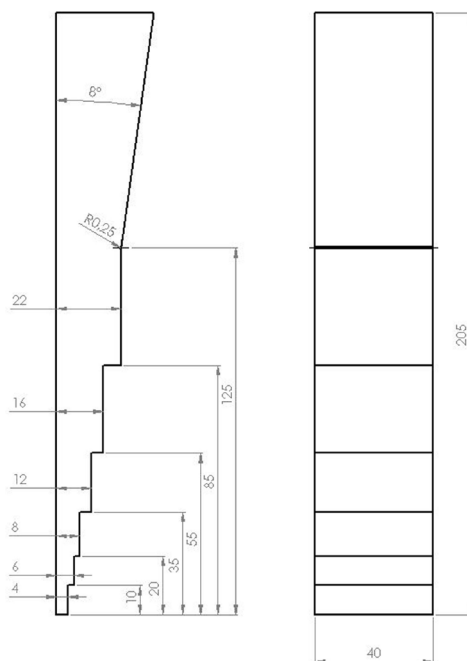
Ponieważ uznano, że jedną z przyczyn występujących problemów może być sposób ustawienia modelu (forma jest umieszczana na stole obrotowym i nie można zapewnić krzepnięcia kierunkowego), w dalszych próbach stosowano model schodkowy w ustawieniu pionowym (rys. 10).

Therefore, in further tests, a redesigned gating system was used. Due to the high mould friability, only self-hardening sands (with additive E introduced in an amount of 0.25 wt. %) were used as providing moulds, and consequently – castings of a better quality. An improvement in the casting quality was observed; in particular, the effect of metal penetration was largely reduced. Figure 9 shows the trial ablation knocking out of stepped moulds placed horizontally.

Since it was assumed that one of the possible causes of problems could be the pattern position in the mould (the mould was placed on a turn-table and in this position the directional solidification of casting was not possible), in further trials the stepped pattern was set in a vertical position (Fig. 10).



Rys. 9. Ablacyjne wybijanie form schodkowych w ustawieniu poziomym
Fig. 9. Ablation knocking out of stepped moulds placed horizontally



Rys. 10. Model schodkowy – ustawienie pionowe
Fig. 10. The stepped pattern placed in a vertical position

W wykonywanych kolejnych formach z masy samoutwardzalnej formowano po dwa modele schodkowe w ustawieniu pionowym. Grubsza część modelu spełniała rolę nadlewu. Wszystkie formy zalewane były od góry modelu. Na [rysunku 11](#) pokazano formy do wykonywania odlewów schodkowych w ustawieniu pionowym, a na [rysunku 12](#) – przebieg procesu ablacyjnego wybijania form schodkowych w ustawieniu pionowym.

In the next series of moulds made from the self-hardening sand, two stepped patterns were moulded in a vertical position. The thicker part of the pattern also served as a riser. All moulds were poured from the top of the pattern. [Figure 11](#) shows moulds ready for casting of stepped test samples in a vertical position, while [Figure 12](#) shows successive operations of ablation knocking out of the stepped test samples cast in a vertical position.



Rys. 11. Formy do wykonywania odlewów schodkowych – ustawienie pionowe
Fig. 11. Moulds for stepped castings placed vertically



Rys. 12. Przebieg procesu ablacyjnego wybijania form schodkowych w ustawieniu pionowym

Fig. 12. Ablation knocking out of stepped moulds placed vertically

Podczas wykonywania prób pobierano materiał odpadowy do regeneracji. Ponieważ ablacyjne wybijanie z zastosowaniem wody, jako czynnika chłodzącego, można uznać jako częściową regenerację mokrą, materiał odpadowy poddano tylko procesowi suszenia i przesiewania oraz odpylania. Wyniki badań regeneratu nieodpylonego i po odpylaniu oraz porównania – piasku świeżego – zamieszczono w tabeli 2.

During tests, the waste material was collected for reclamation. Ablation knocking out in water jet used as a coolant is also a partial wet reclamation, and therefore the resulting waste material was subjected only to drying, screening and dust extraction. Table 2 compares the test results obtained on the reclaim before and after dedusting and, for comparison, the results obtained on the fresh sand.

Tabela 2. Wyniki badań fizykochemicznych piasku i regeneratów z masy po ablacyjnym wybijaniu

Table 2. The results of physical and chemical studies made on the fresh sand and compared with the reclaim from ablation knocking out of moulds

	Piasek Grudzeń Las / Grudzeń Las sand	Regenerat nieodpylony / Reclaim before dedusting	Regenerat odpylony / Reclaim after dedusting
Zawartość lepiszcza, % wag. / Clay binder content, wt. %	0,04	0,58	0,38
Frakcja główna / Main fraction	0,20/0,315/0,16	0,20/0,16/0,315	0,20/0,315/0,16
Średnia wielkość ziarna, mm / Average grain size, mm	0,23	0,23	0,23
Jednorodność, % / Homogeneity, %	89	91	91
Straty prażenia, % / Loss on ignition, %	0,20	0,43	0,33

Z regeneratem wykonano kontrolne masy do badań technologicznych, których wyniki przedstawiono w tabeli 3.

Using reclaim, moulding sands were prepared for technological tests. The results of these tests are compared in Table 3.

Tabela 3. Wyniki badań technologicznych masy z regeneratem

Table 3. The results of technological tests carried out on the moulding sand with reclaim

Skład masy, cz. wag. / Sand composition in parts by weight	Żywotność, min / Bench life, min	P, 10 ⁻⁸ m ² /Pa·s			R _c , MPa			R _g , MPa			R _m , MPa		
		1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h
Piasek/Sand 50,00 Regenerat/ Reclaim 50,00 Flodur 1 / Flodur 1 0,25 Spoiwo A / Binder A 2,50 Dodatek E / Additive E 0,25	75	-	310	340	-	0,26	3,40	-	0,18	1,91	-	0,14	1,62

W kolejnej próbie formy wykonywane były z masy zarówno z piaskiem świeżym (100 cz. wag.), jak i z piaskiem zregenerowanym (z regeneratem – 50/50 cz. wag.), przy ilości dodatku E – 0,25% (rys. 13).

Wszystkie formy zalewano od góry modelu. Ostatni, najgrubszy schodek pełnił równocześnie rolę wlewu doprowadzającego metal.

In the next series of tests, moulds were made from the sand mixtures containing either fresh sand (100 parts by weight), or fresh sand and reclaim (50/50 parts by weight). In either case, the content of additive E was 0.25% (Fig. 13).

All moulds were poured from the top of the pattern. The last and the thickest step also served as a riser feeding the liquid metal.



Rys. 13. Formy wykonane z piaskiem świeżym i regeneratem

Fig. 13. Moulds made from the fresh sand and reclaim

Formy z masy z regeneratem wybijały się gorzej niż bez regeneratu, z tym, że przy samym odlewie masa każdorazowo rozsypywała się.

W oparciu o przeprowadzone na doświadczalnym stanowisku odlewania ablacyjnego próby i badania ustalony został ostateczny skład masy (cz. wag.):

Piasek	100,00
Flodur 1	0,25
Spoiwo A	2,50
Dodatek E	0,50.

Moulds made from the fresh sand mixed with reclaim had the knocking out properties inferior to the sand mixture without the reclaim, although in each case the sand adjacent to the casting was easily disintegrated.

Based on the results of tests and studies carried out on a pilot stand for ablation casting, the final sand composition was determined (in parts by weight):

Sand	100.00
Flodur	0.25
Binder A	2.50
Additive E	0.50.

Przeprowadzone próby potwierdziły możliwość stosowania metody ablacyjnego wybijania form zalewanych stopami aluminium, przy zastosowaniu do ich wykonywania samoutwardzalnej masy z modyfikowanym spoiwem wodorozpuszczalnym A i dodatkiem E – materiałami opracowanymi w Instytucie Odlewnictwa.

W przypadku stosowania piasku zregenerowanego, konieczna jest korekta składu masy (obniżenie zawartości spoiwa).

Dodatkowa poprawa skuteczności wybijania może nastąpić po zmianie ciśnienia wody chłodzącej w urządzeniu do ablacyjnego odlewania.

Experiments have confirmed that the method of ablative knocking out of moulds poured with aluminium alloys is applicable when the moulding sand is of a self-hardening type and contains modified water-soluble binder A and additive E, both these materials being developed at the Foundry Research Institute.

When the addition of reclaim is introduced to the fresh sand, the sand composition requires an adjustment (less of binder added).

Further improvement in the knocking out effectiveness can be achieved through changes in the cooling water pressure in the device for ablation casting.

6. Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie, że opracowany skład masy do ablacyjnego wybijania spełnił założenia projektu.

W wyniku przeprowadzonych badań technologicznych i prób stanowiskowych wytypowano skład masy,

6. Summary

The conducted studies lead to the conclusion that the developed sand composition for ablation knocking out meets the anticipated requirements.

As a result of technological studies and bench tests, the sand composition was selected, which gives cast-

zapewniającej dobrą jakość odlewów i skuteczne wybijanie form z zastosowaniem chłodzenia ablacyjnego.

Korzystniejsze pod kątem jakości form, a co za tym idzie, odlewów jest stosowanie piasku średniego (w przedstawionych badaniach był to piasek z kopalni „Grudzeń Las”) i utwardzanie chemiczne z zastosowaniem ciekłego utwardzacza (masy samoutwardzalnej utwardzanej flodurem). Przy utwardzaniu masy za pomocą czynnika gazowego uzyskane formy nie zapewniają odpowiedniej jakości powierzchni zalewanych odlewów.

Przeprowadzone próby zastosowania materiału „zregenerowanego”, tzn. wysuszonego, przesianego i odpylonego, dały pozytywny wynik przy udziale do 50% wag. tego materiału w miejsce piasku świeżego.

Opracowany skład masy zapewnia odpowiednio dużą wytrzymałość wykonywanych form, przy równoczesnej podatności na destrukcyjne działanie medium chłodzącego (wody).

Celowym wydaje się kontynuacja badań po zmianie warunków pracy stanowiska, tzn. ciśnienia wody i ewentualnie czynnika chłodzącego oraz przeprowadzenie badań wpływu ablacyjnego wybijania masy na środowisko.

ings of high quality and ensures effective knocking out of these castings from moulds combined with ablative cooling.

In terms of mould quality, and hence casting quality, better results were obtained using the sand of medium grain size (in the case under discussion it was the sand from the “Grudzeń Las” mine) and chemical hardening of the sand with liquid hardener (self-hardening sands hardened with flodur). Moulds hardened with a gaseous agent gave castings of poor surface quality.

Tests using the sand reclaim, for example, dried, sieved and dedusted, gave positive results when the content of this material replacing the fresh sand was up to 50 wt. %.

The developed sand composition gives moulds of a sufficiently high strength and, at the same time, sufficiently good susceptibility to the destructive effect of coolant (water).

Studies should continue after some modifications introduced to the operating parameters of the pilot stand, i.e. changes in water pressure and possibly also in the type of coolant and conducting research on the impact of ablation knocking out moulding sand on the environment.

Podziękowania

Artykuł powstał w oparciu o wyniki badań wykonanych w ramach realizacji w 2013 roku pracy statutowej, pt.: „Badania i dobór technologii formy wykonywanej w oparciu o wodorozpuszczalne spoiwa nieorganiczne, do ablacyjnej technologii odlewania” (zlec. 3010/01), finansowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Acknowledgements

This article was based on the results of studies carried out within the framework of the implemented in 2013 statutory work entitled: "Studies and development of technology to make moulds based on water-soluble inorganic binders for the ablation casting process" (No. 3010/01), financed by the Ministry of Science and Higher Education.

Literatura/References

1. Weiss, D. et al. (2011). Testing the Limits of Ablation. *Mod. Casting*, December 2011, 26–29.
2. Grassi, J. et al. (2009). The Ablation Casting Process. *Mater. Sci. Forum*, 618–19, 591–594.
3. Weiss, D., Schultz, B., Rohatgi, P. (2012). Discovering Ablation. *Metal Casting Design & Purchasing*, January/February 2012, 36–39.
4. Weiss, D. et al. (2011). Ablation of Hybrid Metal Matrix Composites. *AFS Proceedings*, <http://www.afsinc.org/files/mcdp/stories/magazine/webonly/11-057.pdf>.
5. *Solidification microstructure of aggregate molded shaped castings*, Grassi, J.R., Campbell, J., USA, 2008, patent, nr US 20080041499 A1.
6. Izdebska-Szanda, I., Baliński, A. (2004). Wpływ morfoaktywnych modyfikatorów uwodnionego krzemianu sodu na przemiany temperaturowe zachodzące w masach formierskich z tym spoiwem. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*, 24(1 sp. issue), 19–29.
7. Baliński, A., Izdebska-Szanda, I. (2006). The Economical and Ecological Aspects of Using the Modified Water-glass and Fly Ash as an Additive to Green Sands. *Conference Proc. 46 Foundry Conference*, Portorož, 2006, 39 (CD).
8. Izdebska-Szanda, I., Baliński A. (2011). New generation of ecological silicate binders. *Procedia Engineering*, 10, 887–893.
9. Baliński, A. (2009). *O strukturze uwodnionego krzemianu sodu jako spoiwa mas formierskich*. Kraków: Instytut Odlewnictwa.
10. Dudek, P., Fajkiel, A., Reguła, T., Bochenek, J. (2014). Badania nad technologią odlewania ablacyjnego stopów aluminium / Research on ablation casting technology for aluminium alloys. *Prace Instytutu Odlewnictwa / Transactions of the Foundry Research Institute*, 54(2), 23–35, DOI: 10.7356/ioid.2014.06.