

Kryteria oceny właściwości wiążących bentonitów odlewniczych

Assessment criteria for binding characteristics of foundry bentonites

Dominika Kwaśniewska-Królikowska^{1*} 

¹Zakłady Górniczo-Metalowe Zębiec Spółka Akcyjna, 27-200 Starachowice, Polska

¹Zakłady Górniczo-Metalowe Zębiec Spółka Akcyjna, 27-200 Starachowice, Poland

*Corresponding author: dominika.kwasniewska@zebiec.pl

Received: 04.04.2019. Accepted in revised form: 31.05.2019.

© 2019 ŁUKASIEWICZ – Instytut Odlewnictwa. All rights reserved.

DOI: 10.7356/iod.2019.05

Streszczenie

W artykule zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych oceny właściwości wiążących dwóch gatunków odlewniczych bentonitów wapniowych. Bentonity poddano chemicznej modyfikacji za pomocą węgla sodu, w kilku przyjętych udziałach procentowych. Na wybranych próbkach oceniono takie parametry fizykochemiczne, jak: wytrzymałość na ściskanie, współczynnik pęcznienia, zawartość montmorylonitu. Uzyskane wyniki pozwoliły na wykreślenie tzw. krzywej aktywacji bentonitu. Dla wybranych próbek przeprowadzono badania parametrów fizykochemicznych w podwyższonej temperaturze. Całość badań zarówno stopnia aktywacji, jak i żaroodporności bentonitu pozwoliły na optymalny dobór udziału węgla sodu biorącego udział w jego modyfikacji tak, aby uzyskać jak najlepsze parametry wiążące bentonitu odlewniczego.

Słowa kluczowe: bentonit, żaroodporność, krzywa aktywacji

Abstract

The paper presents laboratory test results for an assessment of the binding characteristics of two grades of calcium bentonite compounds for casting moulds. The bentonite compounds were chemically modified with sodium carbonate at several different percentage ratios of the modifier. Samples were selected as the specimens and assessed for certain physical and chemical characteristics, including compressive strength, swelling factor, and montmorillonite content. The test results allowed the so-called bentonite activation curves to be plotted. Some of the specimens had their physical and chemical characteristics tested at high temperatures. The entirety of the laboratory tests of bentonite activation and heat resistance enabled an optimised selection of the sodium carbonate percentage fraction for a bentonite compound modification which would produce the best binding properties of foundry bentonite.

Keywords: bentonite, heat resistance; activation curve

1. Wprowadzenie

Bentonit jest jednym z głównych materiałów wiążących stosowanych w odlewnictwie do produkcji form odlewniczych. Masy bentonitowe stanowią ok. 70–80% mas formierskich, w których wykonywane są odlewy ze stopów żelaza, głównie żeliwa [1]. Bentonity odlewnicze poddane wpływowi wysokiej temperatury tracą swoje właściwości wiążące. Utrata zdolności wiążących zależy zarówno od temperatury, jak i czasu ekspozycji na podwyższoną temperaturę [2].

1. Background

Bentonite is one of the major binders applied in the production of casting moulds. Bentonite-bonded sands constitute about 70–80% of all moulding sands in which castings are made from iron alloys, mainly cast iron [1]. Subjected to the effect of high temperature, foundry bentonites lose their binding properties and the loss of binding capacity depends on both temperature and time of exposure to elevated temperature [2].

Wymogi stawiane masom bentonitowym są coraz wyższe. Wynika to głównie z dominacji procesów formowania, które zapewniają wysoki stopień zagęszczenia, to jest prasowanie pod wysokimi naciskami czy formowanie impulsowe [3].

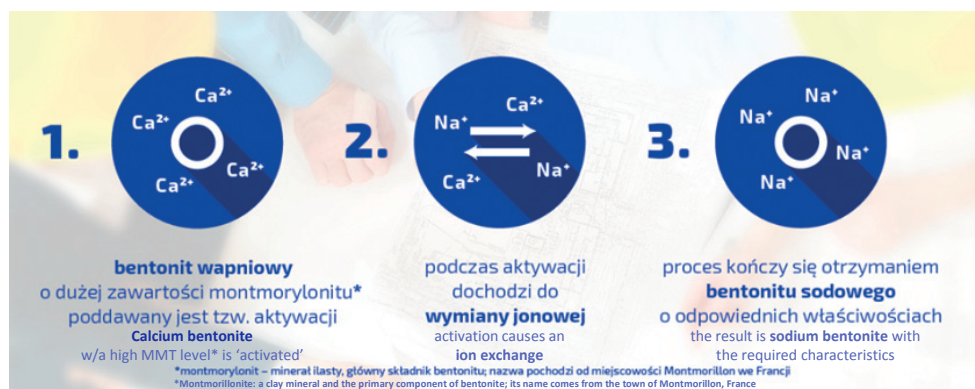
Głównym, najważniejszym składnikiem bentonitu jest montmorylonit (MMT). Montmorylonit posiada budowę, która determinuje jego właściwości fizykochemiczne, w tym wpływa na aktywność w procesach modyfikacji [4]. Montmorylonit zawierający w przestrzeni międzywarstwowej kationy wapnia (Ca-MMT) występuje w naturze jako składnik bentonitu wapniowego [5]. Należy pamiętać, że bentonit jako surowiec pochodzenia mineralnego zawiera też inne domieszki. W jego składzie mogą znajdować się nie tylko zdolne do wymiany kationy wapnia, ale też kationy innych metali. W literaturze bentonit zawierający Ca-MMT określa się mianem „bentonitu nieaktywowanego” [5,6].

W technologii odlewniczej jako składnik mas klasycznych stosuje się bentonit aktywowany zawierający w swym składzie montmorylonit aktywowany kationami sodu (Na-MMT). Modyfikacja prowadzona jest na drodze wymiany jonowej międzypakietowych kationów wapnia na kationy sodu (rys. 1).

The performance requirements for bentonite compounds have been becoming more stringent. This is due to the predominance of moulding processes which provide a high level of consolidation and include high pressing and pulse moulding [3].

Montmorillonite (MMT) is the primary and most important component of bentonite compounds. The structure of MMT defines its physical and chemical characteristics, including bentonite activity in modification processes [4]. MMT which contains calcium cations in the interlayer spaces (Ca-MMT) can be found in nature as a component of calcium bentonite [5]. Bentonite is a material derived from naturally occurring minerals and features other admixtures. Aside from exchange-capable calcium cations, bentonite may also feature cations of other metallic elements. The reference sources call bentonite with Ca-MMT an ‘non-activated bentonite’ [5,6].

In casting technology, activated bentonite containing in its composition montmorillonite activated with sodium cations (Na-MMT) is used as a component of traditional moulding sands. Na-MMT is made by ion exchange of interpackage calcium cations with sodium cations (Fig. 1).



Rys. 1. Aktywacja bentonitu [materiały własne]

Fig. 1. Bentonite activation [the results of own research]

Aktywowany montmorylonit Na-MMT wykazuje większe właściwości adhezyjne, w tym zdolności do wiązania ziaren osnowy, co jest istotne pod kątem jego zastosowania jako materiału wiążącego do wytwarzania mas formierskich [4] (rys. 2).

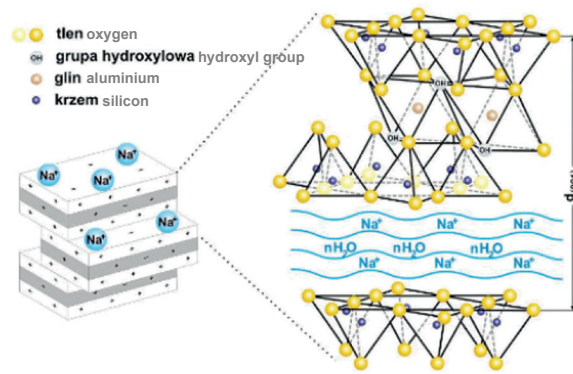
Duże znaczenie dla jakości masy ma termostabilność bentonitu w podwyższonej temperaturze. Zakres temperatury powinien być odpowiednio wysoki, aby obciążona cieplnie masa wytrzymała nacisk ciekłego metalu oraz uniknąć powstawaniu wad odlewu typu pęknięcia na gorąco [3].

Poddanie bentonitu oddziaływaniu wysokiej temperatury ciekłego stopu odlewniczego prowadzi do destrukcji montmorylonitu i jego przejścia w fazę lepiszcza nieaktywnego, który w postaci pyłu oraz

Activated montmorillonite, Na-MMT, demonstrates improved adhesive performance which includes binding of the matrix grain. This is important for the applications of Na-MMT as a binder in the production of moulding compounds [4], a.k.a. moulding sands and sandmixes (Fig. 2).

Thermal stability of bentonite at high temperatures is important for the quality of moulding sand. The temperature range should be high enough to make the thermally loaded sand withstand the pressure of molten metal and avoid the occurrence of casting defects of the hot crack type [3].

Subjecting bentonite to the effect of the high temperature of the cast molten alloy leads to the destruction of montmorillonite and its transition into a non-active



Rys. 2. Struktura budowy pakietowej bentonitu aktywowanego [7]

Fig. 2. Package structure in activated bentonite [7]

warstewki zoollityzowanej gromadzi się na ziarnach osnowy piaskowej. Powoduje to obniżenie temperatury spiekania masy, zmniejszenie przepuszczalności oraz zwiększenie skłonności do powstawania wad. Wielkość dezaktywacji zależy od temperatury zalewania metalu oraz stosunku masy formierskiej do wagi metalu w formie odlewniczej. W każdej postaci wywiera jednak niekorzystny wpływ na właściwości technologiczne masy i zmusza do bardziej intensywnego odświeżania. Różne rodzaje bentonitów mają odmienną odporność na działanie wysokiej temperatury [3].

Potrzeba uzyskania wysokiej wytrzymałości na ściskanie przy niskiej zawartości bentonitu oraz niskiej wilgotności i osypliwości masy wymusza potrzebę stosowania wysokiej jakości bentonitów.

Do niedawna za główny parametr decydujący o jakości bentonitu uznawano zawartość montmorylonitu. W pracy przedstawiono cykl badań mający na celu określenie wpływu stopnia aktywacji na wytrzymałość na ściskanie oraz żaroodporność masy formierskiej. Badania uzupełniono o badanie zawartości węglanów oraz współczynnika pęcznienia bentonitu.

2. Metodyka badań

2.1. Stosowane materiały do badań i wykorzystywana aparatura

Przedmiotem prowadzonych prac były następujące materiały ceramiczne stosowane do wytworzenia form odlewniczych:

- Bentonit A – bentonit wapniowy ze złoża Jelšovy Potok eksploatowany przez firmę KBS Kremnica;
- Bentonit B – bentonit wapniowy ze złoża; Lutila eksploatowany przez firmę Regos;
- węglan sodu, Na_2CO_3 , firmy PPH Standard;

binder, which in the form of dust and oolitized layer accumulates on the sand grains. This reduces the sintering point and permeability of moulding sand and increases its tendency to the formation of casting defects. The magnitude of deactivation depends on the casting temperature of the metal and the weight ratio of the moulding compound to the metal cast into the mould. Whatever its magnitude is, the deactivation always harms the processing performance of the moulding compounds. This requires more intense rebonding. Bentonite types vary in their resistance to high temperatures [3].

The need to achieve high compressive strength ratings of a moulding compound at a low bentonite content with a low moisture content and a low abrasibility requires high-quality bentonite materials.

Until recently, the MMT content (or level) was accepted as the primary quality characteristic of bentonite. This paper presents a series of tests intended to determine the effect of activation level on compressive strength and heat resistance in moulding compounds (also known as moulding sands or sandmixes). The test were complemented with tests of carbonate levels and swelling factor in bentonite.

2. Methodology

2.1. Tested materials and used apparatus

The ceramic materials used in the manufacture of moulds:

- Bentonite A: calcium bentonite mined by KBS Kremnica from the JelšovyPotok deposit;
- Bentonite B: calcium bentonite mined by Regos from the Lutila deposit;
- Sodium carbonate (Na_2CO_3) made by PPH Standard;

- trietylenotetramina firmy Sigma-Aldrich;
- siarczan(VI) miedzi(II), CuSO_4 , firmy MERCK.

Przy prowadzeniu prób wykorzystano:

- Aparat do pomiaru wytrzymałości mas formierskich LRu-2e;
- Ubijak laboratoryjny LUA-2e;
- Mieszarkę laboratoryjną LM-2e;
- Piec muflowy firmy Czylok;
- Spektrofotometr Hach Lange, DR 5000, długość fali 620 nm;
- Urządzenie ultradźwiękowe InterSonic;
- Aparat Scheiblera do oznaczenia węglanów.

2.2 Metody badawcze

Badania przeprowadzono zgodnie z metodyką zawartą w normach oraz instrukcjach opracowanych w zakładowym laboratorium ZGM Zębiec S.A. przytoczonych w poniższym wykazie:

- PN-83/H-11073 Odlewnicze materiały formierskie. Pomiar wytrzymałości;
- GOST 28177 МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ ГЛИНЫ ФОРМОВОЧНЫЕ БЕНТОНИТОВЫЕ Общие технические условия / Moulding bentonite clays general specifications;
- PN-85/H-11003 Odlewnicze materiały formierskie. Bentonit odlewniczy;
- BN-70/4024-15 Odlewnicze masy formierskie. Badania laboratoryjne. Analiza chemiczna piasków i glin formierskich;
- Zawartość montmorylonitu w bentonitach oznaczono metodą spektrofotometryczną kompleksu Cu(II) -trietylenotetraaminy (Cu-TET), opracowanego w Zakładzie Inżynierii Procesów Odlewniczych Wydziału Odlewnictwa AGH [8].

3. Wyniki badań

Modyfikację montmorylonitu na drodze chemicznej w nieaktywowanym bentonicie wapniowym przeprowadzono za pomocą węglanu sodu, wykonując tzw. aktywację bentonitu. Proces aktywacji przeprowadzono laborato-

- Triethylenetetramine (TET) made by Sigma-Aldrich;
- Copper(II) sulfate (CuSO_4) made by MERCK.

Equipment used in laboratory trials:

- LRu-2e moulding sand strength tester;
- LUA-2e laboratory tamper;
- LM-2e laboratory mixer;
- Czylok muffle furnace;
- Hach Lange DR 5000 spectrophotometer; wavelength at 620 nm;
- InterSonic ultrasound tester;
- Scheibler tester for carbonate content determination.

2.2 Test methods

The tests were completed according to the methodology established in the standards and procedures developed at the laboratory of ZGM Zębiec S.A. gathered in the list below:

- PN-83/H-11073 “Foundry moulding materials. Measurement of resistance”;
- GOST 28177 “МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ ГЛИНЫ ФОРМОВОЧНЫЕ БЕНТОНИТОВЫЕ Общие технические условия / Moulding bentonite clays general specifications”;
- PN-85/H-11003 “Moulding materials for founding. Casting bentonite”;
- BN-70/4024-15 “Foundry moulding sands. Laboratory tests. Chemical analysis of moulding sands and clays”;
- The MMT content in the bentonite was determined by Cu(II) -triethylenetetramine (Cu-TET) spectrophotometry, a method developed by the AGH Faculty of Foundry Engineering, Laboratory of Founding Process Engineering [8].

3. Test results

MMT was chemically modified in non-activated calcium bentonite by applying sodium carbonate in a process called ‘bentonite activation’. The bentonite activation process was performed under controlled laboratory

rynie na każdym z badanych surowców bentonitowych, stosując trzy różne udziały węgla sodu (stopnie aktywacji): 2,8%, 3,2% i 3,6%. Punktem odniesienia był bentonit niepoddany procesowi aktywacji.

Aktywację bentonitu przeprowadzono, dodając do 2 kg bentonitu nieaktywowanego o wilgotności min. 32% odpowiednią ilość węgla sodu, w udziale 2,8; 3,2 i 3,6% w stosunku do masy bentonitu.

Mieszaninę poddano homogenizacji w mieszarce krążeniowej i pozostawiono na okres 1 tygodnia w szczelnie zamkniętym pojemniku. Po przeprowadzeniu procesu aktywacji próbkę wysuszono w temperaturze 110°C oraz zmielono w młynie palcowym. Uzyskany bentonit podzielono na dwie części. Pierwsza została poddana wybranym badaniom fizykochemicznym, tj. **wytrzymałość na ściskanie, współczynnik pęcznienia, zawartość montmorylonitu, zawartość wody i zawartość węglanów**. Z drugiej części przygotowanej próby odważono 500 g i poddano działaniu wysokiej temperatury. Próbkę została wyprażona przez dwie godziny w temperaturze 600°C. Wyprażony bentonit poddano badaniom analogicznym jak w przypadku pierwszej próby. Otrzymany wynik wytrzymałości po prażeniu porównano z wynikiem wytrzymałości przed prażeniem badanej próbki i wyliczono współczynnik stabilności termicznej (T) zgodnie ze wzorem (1):

$$T = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \quad (1)$$

gdzie:

T – współczynnik stabilności termicznej (żaroodporności),

σ_1 – wytrzymałość na ściskanie próbki po prażeniu,

σ_2 – wytrzymałość na ściskanie próbki przed prażeniem.

Badanie wytrzymałości bentonitu przeprowadzono poprzez ocenę masy formierskiej wykonanej z udziałem 7% bentonitu, zgodnie z normą PN-85/H-11003, przy stosunku wodno-glinowym wynoszącym około 0,5. Wyniki tych badań przedstawiono w tabeli 1 oraz wykreślono krzywe aktywacji dla bentonitu w temperaturze otoczenia (rys. 3), a także po wyprażeniu w temperaturze 600°C (rys. 4).

conditions on each of the tested bentonite materials. Three different percentage ratios (or 'activation levels') of sodium carbonate were used as follows: 2.8%, 3.2% and 3.6%. The reference was non-activated bentonite.

Each bentonite activation process was performed on a specimen being a 2-kilogram batch of non-activated bentonite with a minimum moisture content of 32% by adding sodium carbonate in a quantity corresponding to each tested percentage ratio (2.8, 3.2, and 3.6%) of the bentonite batch mass.

In each bentonite activation process, the resulting mixture was homogenised in an edge runner mixer and stored for 1 week in a tightly sealed container. Following its activation process, each specimen was dried at 110°C and ground in a disintegrator. The resulting bentonite was divided into two batches. One batch was used in a selection of physical and chemical tests to determine its **compressive strength, swelling factor, MMT content, water content, and carbonate content**. From the other batch, a specimen of 500 g was weighed and exposed to the effect of high temperature. This was done by calcining the batch at 600°C for 2 hours. The calcinated bentonite batch was then tested the same as the non-calcinated specimen part. For each specimen, the value of compressive strength obtained after calcination was compared to the compressive strength tested prior to calcination and the thermal stability coefficient (T) was calculated with Eq. (1):

$$T = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \quad (1)$$

with:

T – thermal stability (heat resistance) coefficient;

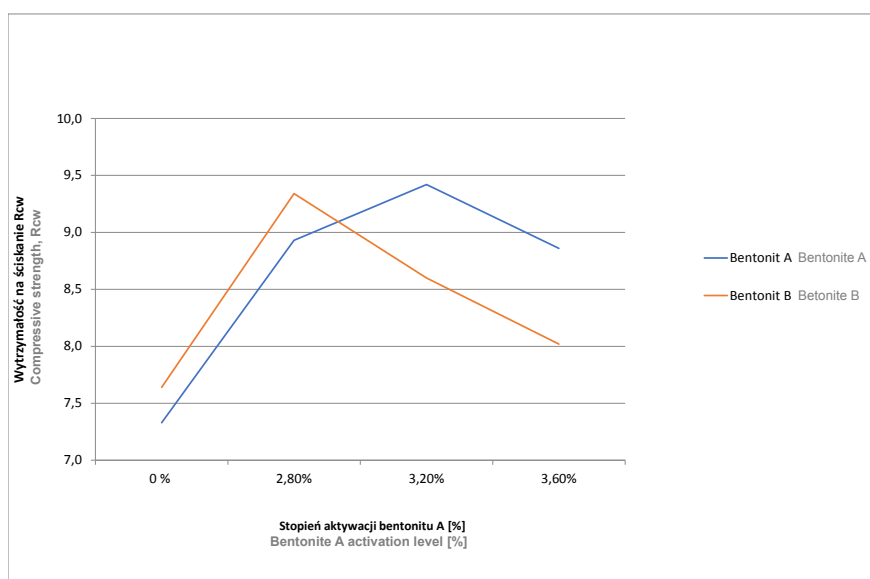
σ_1 – compressive strength after calcination;

σ_2 – compressive strength before calcination.

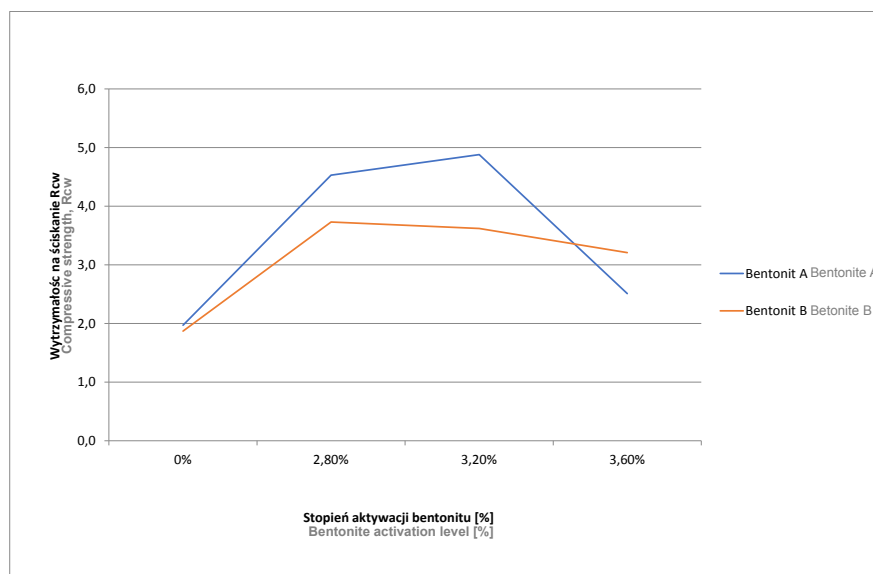
The bentonite was tested for compressive strength by assessing a moulding compound made with 7% of the bentonite material per PN-85/H-11003 and with a water to aluminium ratio at approximately 0.5. The test results are listed in Table 1. The activation curves were plotted for the bentonite at ambient temperature (Fig. 3) and after its calcination at 600°C (Fig. 4).

Tabela 1. Analiza termostabilności bentonitu
Table 1. Thermal stability analysis of bentonite material

	Stożek aktywacji, % Activation level, %	Prażenie 600°C 600°C calcination	Na ₂ CO ₃ , %	MMT, %	Zawartość wody, % Water, %	Zawartość wody w masie, % Water in mass, %	Wytrzymałość na ściskanie w stanie wilgotnym $R_{c''}$, N/cm ² Wet compressive strength, $R_{c''}$, N/cm ²	Osypliwość, % Abrasiability, %	Współczynnik pęcznienia W/p , cm ³ /2 g Swelling factor, W/p , cm ³ /2 g	Współczynnik stabilności termicznej T Thermal stability T
Bentonit A Bentonite A	0	przed prażeniem before calcination	0,3	78	2,3	3,51	7,33	13,02	10,00	3,46
		po prażeniu after calcination	0,1		0,6	3,56	2,12	31,30		
	2,8	przed prażeniem before calcination	2,8	79	1,5	3,52	8,93	7,71	28,44	1,43
		po prażeniu after calcination	0,4		0,4	3,54	6,25	25,44		
	3,2	przed prażeniem before calcination	3	84	1,4	3,51	9,42	4,95	28,60	1,43
		po prażeniu after calcination	0,6		0,8	3,56	6,6	27,44		
	3,6	przed prażeniem before calcination	3,4	83	1,1	3,52	8,86	5,96	34,60	2,00
		po prażeniu after calcination	0,4		0,9	3,51	4,43	34,72		
Bentonit B Bentonite B	0	przed prażeniem before calcination	0,5	78	1,3	3,54	7,64	16,60	10,00	4,09
		po prażeniu after calcination	0,1		0,4	3,49	1,87	25,44		
	2,8	przed prażeniem before calcination	2,9	79	1,4	3,52	9,34	8,94	19,27	2,50
		po prażeniu after calcination	0,3		0,3	3,56	3,73	28,44		
	3,2	przed prażeniem before calcination	3,3	78	1,6	3,52	8,6	6,67	22,30	2,38
		po prażeniu after calcination	0,4		0,3	3,54	3,62	33,72		
	3,6	przed prażeniem before calcination	3,9	79	1,6	3,54	8,02	6,14	21,34	2,50
		po prażeniu after calcination	0,3		0,2	3,56	3,21	43,65		



Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie bentonitu w zależności od stopnia aktywacji
Fig. 3. Relationship between bentonite compressive strength and activation level



Rys. 4. Wytrzymałość na ściskanie bentonitu po prażeniu w zależności od stopnia aktywacji
 Fig. 4. Relationship between bentonite compressive strength after calcination and activation level

4. Wnioski

Potrzeba uzyskania wysokiej wytrzymałości masy przy niskiej zawartości bentonitu, małej wilgotności masy oraz niskiej osypliwości wymusza potrzebę stosowania wysokiej jakości bentonitów.

Uzyskanie wysokojakościowego bentonitu dla odlewnictwa rozpoczyna się już w momencie selekcjonowania surowca na złożu. Kluczowy jest tu dobór bentonitu o wysokiej zawartości montmorylonitu oraz żaroodporności.

Kolejnym krokiem w produkcji wysokojakościowego produktu dla odlewnictwa jest dobranie stopnia aktywacji oraz czasu leżakowania bentonitu. Każdorazowo przy zmianie surowca lub miejsca jego wydobycia na złożu, laboratorium powinno sporządzić krzywą aktywacji bentonitu, określając optymalne warunki aktywacji, zwracając uwagę na uzyskane wyniki wytrzymałości na ściskanie, żaroodporność oraz współczynnik pęcznienia.

Proces aktywacji bentonitu powinien odbywać się na układzie aktywacji z możliwością dokładnego sterowania ilością dodawanych komponentów. Przedstawione wyniki wskazują, że wysoka zawartość montmorylonitu w bentonicie, który został poddany wpływowi wysokiej temperatury nie zawsze decyduje o jego właściwościach wiążących. Mimo uzyskania wysokich wytrzymałości na ściskanie, bentonit może nie utrzymywać swoich właściwości w wysokiej temperaturze. Powinno określać się również inne parametry poza wytrzymałością na ściskanie np. współczynnik pęcznienia, którego zmiany – spowodowane wpływem wysokiej temperatury – są podobne do zmian wytrzymałości na ściskanie masy formierskiej.

4. Conclusions

The need to achieve high compressive strength ratings of a moulding compound at a low bentonite content with a low moisture content and a low abrasibility requires high-quality bentonite materials.

The production of high-quality bentonite for casting applications begins as early as at the stage of selecting the bentonite material from a mined deposit. It is critical to choose bentonite with a high MMT content and high heat resistance.

The next step in the production of high-quality bentonite for casting applications is to choose the activation level and seasoning time of the bentonite. Whenever the material or its mining location within a deposit changes, the responsible laboratory should plot the bentonite activation curve by determining the optimum activation conditions. Here, the tested compressive strength, heat resistance and swelling factor are important.

The bentonite activation process should be run with an activation system which enables accurate control over the quantities of the added components. The test results shown above revealed that a high MMT content in a bentonite material exposed to a high temperature does not always define the bonding performance of the bentonite. Despite a high compressive strength, bentonite cannot always retain its characteristics when exposed to high temperatures. Other characteristics should be determined with compressive strength, and they include the swelling factor, the changes of which, as caused by high temperatures, resemble the changes in the compressive strength of the moulding compound.

Pęcznienie, określając najogólniej, jest procesem wzrostu objętości pod wpływem nasycenia wodą materiału ilastego. Nieznane są wszystkie czynniki, które wpływają na dynamikę tego zjawiska. Parametrowi współczynnika pęcznienia można przypisać zdolność bentonitu do wiązania osnowy formierskiej.

Stwierdzono również, że zachowanie bentonitu pod wpływem temperatury jest zróżnicowane, jeśli chodzi o zdolności wiązania i należy to wziąć pod uwagę przy wyborze bentonitu dla odlewni. Posługując się współczynnikiem stabilności termicznej, należy dążyć do wyboru bentonitu, którego współczynnik zbliżony jest do wartości 1. Stosując bentonit dobrej jakości poddany odpowiednio dobranej aktywacji i przeróbce, można znacznie zmniejszyć zawartość lepiszcza w masie i ograniczyć stopień odświeżania, zapewniając jednocześnie odpowiednie właściwości technologiczne mas.

Podziękowania

Prace zrealizowano w ramach badań własnych Laboratorium zakładowego ZGM Zębice S.A. Przekazuję serdeczne podziękowania dla pracowników Działu Kontroli Jakości.

Literatura/References

1. Liu J., H. Yamada, T. Kozaki, S. Sato, H. Ohashi. 2003. „Effect of silica sand on activation energy for diffusion of sodium ions in montmorillonite and silica sand mixture”. *Journal of Contaminant Hydrology* 61 (1–4) : 85–93. DOI: 10.1016/S0169-7722(02)00115-8.
2. Żymankowska-Kumon S. 2012. „Assessment criteria of bentonite binding properties”. *Archives of Foundry Engineering* 12 (3) : 139–142. DOI: 10.2478/v10266-012-0097-7.
3. Dobosz St.M., M. Aslanowicz. 1998. „Odlewnicze masy z bentonitami – Jakość a wymagania”. *Krzepnięcie Metali i Stopów* (35) : 83–91.
4. Grabowska B., Ż. Kurlęto-Kozioł. 2017. „Badania spektralne (FTIR, UV-Vis) montmorylonitu modyfikowanego ultradźwiękami i kationami potasu / Spectral study (FTIR, UV-Vis) of montmorillonite modified by ultrasound and potassium cations”. *Prace Instytutu Odlewnictwa / Transactions of the Foundry Research Institute* 57 (2) : 125–136.
5. Rabek J.F. 2013. *Polimery. Otrzymywanie, metody badawcze, zastosowanie*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
6. Lewandowski J.L. 1997. *Tworzywa na formy odlewnicze*. Kraków: Wydawnictwo Naukowe „AKAPIT”.
7. <http://www.technologie-budowlane.com> [dostęp 20.04.2019].
8. Holtzer M., B. Grabowska, A. Bobrowski, S. Żymankowska-Kumon. 2009. „Methods of the montmorillonite content determination in foundry bentonites”. *Archives of Foundry Engineering* 9 (4) : 69–72.

Swelling, in most general terms, is a process of volume increase by saturation of the clay material with water. Not all factors which contribute to the dynamics of the process are known. The swelling factor can be expressed as the ability of a bentonite material to bind the moulding sand matrix.

It was also found that the behaviour of bentonite at specific temperatures may vary and change the bentonite bonding ability. This should be considered when selecting bentonite for foundry applications. A bentonite material should be chosen with a thermal stability coefficient approximate to 1. By applying a bentonite material of high quality, processed with a properly chosen activation procedure and downstream processes, the binder content in the moulding sands could be significantly reduced and the rebonding rate limited while ensuring the optimum processing characteristics of the moulding compounds.

Acknowledgements

The test were completed under proprietary research of the laboratory at ZGM Zębice S.A. Special acknowledgement goes to the Quality Control personnel at ZGM Zębice S.A.