

Analiza metod pomiaru wybijałości mas formierskich

K. Major-Gabryś *, A. Grabarczyk, N. Kaźnica

Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków, Wydział Odlewnictwa, Katedra Tworzyw Formierskich, Technologii Formy i Odlewnictwa Metali Nieżelaznych,

Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: katmg@agh.edu.pl

Otrzymano 04.06.2014; zaakceptowano do druku 22.08.2014

Streszczenie

Potrzeba uzyskiwania wysokiej jakości odlewów wymusza podejmowanie prac badawczych dla otrzymania mas formierskich i rdzeniowych zapewniających uzyskanie tworzyw o odpowiednich parametrach technologicznych, jednocześnie spełniających wysokie wymagania ochrony środowiska. Przyjaznymi dla środowiska są masy ze spoiwami nieorganicznymi, jednak jedną z ich podstawowych wad jest zła wybijałość. W artykule zostały przedstawione najczęściej stosowane metody pomiaru wybijałości mas formierskich i rdzeniowych. Autorzy zaproponowali nową metodę oceny wybijałości opierającą się na pomiarze ekspansji wysokotemperaturowej. Przedstawiono ocenę wybijałości mas z uwodnionym krzemianem sodu modyfikowanym dodatkiem nanocząstek Al_2O_3 w oparciu o ekspansję wysokotemperaturową oraz pomiar wytrzymałości końcowej na ściskanie R_c^{tk} . Autorzy udowodnili, że ekspansja wysokotemperaturowa stanowić może kryterium oceny wybijałości mas formierskich.

Słowa kluczowe: Masa formierska, Wybijałość, Ekspansja wysokotemperaturowa, Wytrzymałość końcowa na ściskanie R_c^{tk} , Uwodniony krzemian sodu

1. Wprowadzenie

Potrzeba uzyskiwania wysokiej jakości odlewów wymusza podejmowanie prac badawczych dla otrzymania mas formierskich i rdzeniowych zapewniających uzyskanie tworzyw o odpowiednich parametrach technologicznych, jednocześnie spełniających wysokie wymagania ochrony środowiska. Wiele ośrodków krajowych i zagranicznych [1-12] podejmuje prace naukowo-badawcze mające na celu opracowanie nowych systemów wiążących opartych o nietoksyczne spoiwa nieorganiczne. Najważniejszą grupę stanowią tutaj masy z uwodnionym krzemianem sodu. Niestety ich podstawową wadą

jest słaba wybijałość oraz mała zdolność do regeneracji mechanicznej.

Dla prawidłowej oceny działań poprawiających wybijałość mas z uwodnionym krzemianem sodu należy zastosować odpowiednią procedurę jej pomiaru. W artykule zostały przedstawione najczęściej stosowane metody pomiaru wybijałości mas formierskich i rdzeniowych oraz zaproponowano nową metodę opierającą się na pomiarze ekspansji wysokotemperaturowej badanych mas.

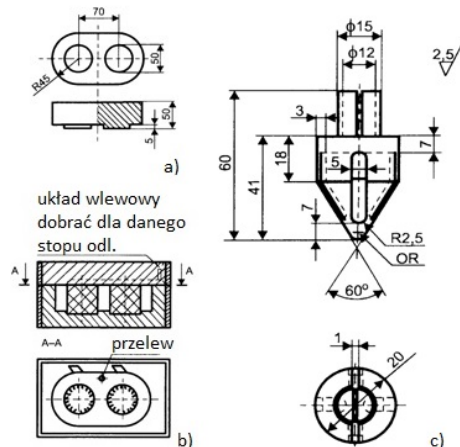
2. Wybijałość mas formierskich

Wybijałość jest to zdolność masy do łatwego wybijania się (wysypywania) z formy (masa formierska) lub odlewu (masa

rdzeniowa) po ostygnięciu odlewu do temperatury wybijania [13]. Wybijalność mas formierskich oceniana jest metodami technologicznymi oraz w oparciu o pomiar wytrzymałości końcowej R_c^{tk} .

2.1. Próby technologiczne – metoda zalecana przez polską normę PN-85/H-11005

Metoda jest próbą technologiczną, w której stosuje się standardowe kształtki walcowe ($\phi 50 \times 50$ mm) wykonane z badanej masy [13]. Sporządzone kształtki poddaje się takim samym zabiegom jak produkowane z danej masy rdzenie lub formy. Kształtek nie powleka się powłoką ochronną. Sporządzone kształtki (rdzenie) umieszcza się we wnęce formy wykonanej z tej samej masy, z jakiej sporządza się kształtki walcowe (rdzenie), przy użyciu określonego modelu (rys. 1). Do sporządzonej formy wlewa się ciekły stop odlewniczy, z którego wykonuje się odlew. Temperatura ciekłego stopu odlewniczego powinna być taka sama jak podczas produkowania odlewów w badanej masie. Po ostudzeniu wykonanego odlewu do temperatury otoczenia, umieszcza się go wraz z kształtkami (rdzeniami) w urządzeniu do oznaczania wybijalności LUW-C lub LUW-CA (automatyczne). Urządzenie do oznaczania wybijalności ma trzpień (rys. 1c), który w wyniku uderzenia ciężarka o masie 3,3 kg, opadającego z wysokości 50 mm, powoduje wybijanie kształtek (rdzeni) z odlewu. Praca jednego uderzenia trzpienia wynosi 1,63 J [13].



Rys. 1. Model (a) do sporządzania formy (b) stosowanej w technologicznej próbie wybijalności (PN-85/11005); (c) trzpień do wybijania masy [13]

Miarą wybijalności jest praca potrzebna do usunięcia kształtki (rdzenia) z odlewu, którą oblicza się za pomocą wzoru 1 [13].

$$L_w = 1,63 \cdot n; J \quad (1)$$

gdzie: 1,63 - wartość pracy jednego uderzenia ciężarka, J,
n - liczba uderzeń ciężarka do chwili wypadnięcia rdzenia z odlewu.

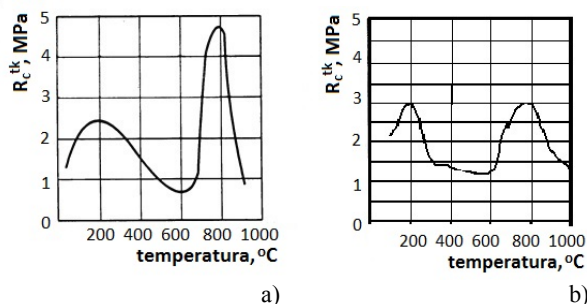
Do technologicznych metod oznaczania wybijalności mas formierskich zaliczane są jeszcze metody rosyjskie oraz metoda francuska opisane w literaturze [13].

2.2. Metoda oparta o pomiar wytrzymałości końcowej R_c^{tk}

Metoda polega na oznaczeniu zmiany wytrzymałości końcowej R_c^{tk} masy wraz ze wzrostem temperatury. Badanie rozpoczyna się od oznaczenia wytrzymałości danej masy w temperaturze otoczenia, a następnie poczynając od 100°C podnosi każdorazowo temperaturę o 100°. W przypadku występowania ostrego pików należy podwyższyć temperaturę o 50°. Po ostudzeniu kształtek do temperatury otoczenia oznacza się wytrzymałość na ściskanie (R_c^{tk}) badanej masy. Uzyskane wyniki nanosi się na wykres ilustrujący zależność R_c^{tk} od temperatury. Na podstawie uzyskanego wykresu wnioskuje się o wybijalności masy, przy czym bardzo dobrą wybijalność będzie miała część masy przegrzana do takiej temperatury, w której R_c^{tk} będzie jak najniższa. Część masy nagrzana do temperatury, w której wartości R_c^{tk} są duże będzie miała złą wybijalność [13].

2.3. Krzywa wytrzymałości końcowej R_c^{tk} masy z uwodnionym krzemianem sodu

Na rysunku 2 przedstawiono charakterystykę tej zależności dla mas z uwodnionym krzemianem sodu [14].



Rys. 2. Klasyczny przebieg zmiany wytrzymałości końcowej R_c^{tk} masy z uwodnionym krzemianem sodu utwardzonej CO_2 (a) oraz masy w technologii estrowej (b) wraz ze wzrostem temperatury [14]

Klasyczna krzywa R_c^{tk} (rys. 2) ma trzy charakterystyczne punkty ekstremalne:

- I Maksimum w temperaturze około 200°C,
- Minimum w temperaturze około 600°C,
- II Maksimum w temperaturze około 800°C.

Występowanie I maksimum przypisywane jest [13, 15] procesowi dehydratacji spoiwa, przy czym największa rola przypisywana jest dehydratacji niezwiązanego uwodnionego krzemianu sodu. Autor [15] tłumaczy występowanie I maksimum w oparciu o przebieg krzywej DTA uwodnionego krzemianu sodu. Z krzywej wynika, że w zakresie temperatur 350 – 400°C rozpoczyna się przebieg endotermiczny z zarejestrowanym w temperaturze 600°C pikiem endotermicznym. Analiza wykazała obecność dwóch pików endotermicznych w temperaturach 130 i 640°C odpowiedzialnych prawdopodobnie za proces dehydratacji związku. Według autora [15] w przypadku mas samoutwardzalnych w technologii estrowej nie występuje I

maksimum - następuje ciągły spadek wytrzymałości od wysokich wartości w temperaturze otoczenia aż do minimum w temperaturze 600°C [15].

Uważana dotychczas za przyczynę występowania *minimum* (600°C) przemiana kwarcu $\beta \rightleftharpoons \alpha$ według autora [15] nie może być jedyną przyczyną występowania tego ekstremum. Autor wykazał bowiem, że masy z uwodnionym krzemianem sodu oparte o osnowę cyrkonową również posiadają minimum w tej temperaturze. Minimum to uzyskano także badając wytrzymałość utwardzonego uwodnionego krzemianu sodu bez udziału osnowy. Autor sugeruje, że istnieją inne przyczyny wpływające na występowanie tego ekstremum i są to przede wszystkim, ze względu na ich wysokie wytrzymałości adhezyjne na powierzchni osnowy kwarcowej, procesy dehydratacji krzemianu disodowego i żelu kwasu krzemowego [15].

Za minimum następuje szybki wzrost wytrzymałości końcowej z maksimum w temperaturze 800 – 900°C. Występowanie II maksimum w tej temperaturze jest spowodowane powstawaniem fazy ciekłej (topieniem się odwodnionego krzemianu sodu) oraz reakcją Na_2CO_3 z SiO_2 , w wyniku, której powstaje $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$ [15].

Po przekroczeniu II maksimum następuje szybki spadek R_c^{tk} , który J.L. Lewandowski [13] tłumaczy naruszeniem struktury otoczki spoiwa na ziarnach osnowy kwarcowej, spowodowanym dużą zmianą objętości kwarcu, ponieważ w obecności Na_2O przemiana w krystalalit może rozpocząć się już powyżej 800°C.

2.4. Propozycja nowej metody oceny wybijałości

Przeprowadzona analiza stosowanych obecnie metod oceny wybijałości mas z uwodnionym krzemianem sodu wykazała, że metoda oceny wybijałości oparta o pomiar wytrzymałości końcowej nie spełnia swojej roli w całym zakresie temperatur.

Zastosowanie oceny wybijałości mas w oparciu o pomiar wytrzymałości końcowej w temperaturach za II maksimum budzi wątpliwości. Autor [15] występowanie spadku wytrzymałości końcowej za II maksimum przypisuje zachodzącej ekspansji masy. Przyczyną tego procesu jest przechodzenie fazy $\alpha\text{-SiO}_2$ w krystalalit, który jest katalizowany przez jon Na^+ . Gęstość kwarcu spada z 2650 do 2330 kg/m^3 przy zwiększeniu objętości masy o około 40%. Wytrzymałość końcowa masy w temperaturach powyżej 1000°C jest niska. Z badań autora [15] wynika, że wytrzymałość końcowa masy z uwodnionym krzemianem sodu i utwardzaczem estrowym ma w temperaturze 800°C typowe II maksimum, natomiast energia konieczna do wybicia kształtki przy wykorzystaniu metody technologicznej wzrasta aż do temperatury 1000°C. Jest to spowodowane tym, że krystalalicyzna ekspansja piasku kwarcowego, która jest główną przyczyną spadku wytrzymałości końcowej masy za II maksimum, zwiększa końcowe zagęszczenie masy, powodując tym samym pogorszenie jej wybijałości. W obliczu powyższego autor twierdzi, że w obszarze temperatur za II maksimum niska wytrzymałość końcowa masy nie może być miarą wybijałości.

W związku z powyższym autorzy opracowali nową metodę, której podstawą stała się analiza zachowania się rdzeni lub formy po procesie zalewania. W wyniku tego procesu masa ulega

rozszerzaniu. Zjawisko to jest jednak hamowane powierzchnią odlewu (masy rdzeniowe) lub odlewem i skrzynką formierską (masy formierskie). Wywołuje to silne naprężenia w masie co utrudnia jej ewakuację z wnętrza odlewu i ze skrzynki formierskiej. Im większe są naprężenia tym gorsza jest wybijałość masy.

Ocenie wielkości tych naprężeń może służyć pomiar ekspansji (czyli rozszerzalności) masy po procesie zalewania. Pomiar ten może posłużyć do oceny wybijałości masy.

3. Badania własne

3.1. Stanowisko badawcze do pomiaru wysokotemperaturowej ekspansji mas formierskich

W Pracowni Tworzyw Formierskich Wydziału Odlewnictwa AGH od wielu lat prowadzone są badania [16-18] mające na celu uznanie pomiaru ekspansji wysokotemperaturowej jako kryterium oceny wybijałości mas formierskich.

Celem niniejszej pracy jest projekt i wykonanie stanowiska badawczego służącego do pomiaru ekspansji wysokotemperaturowej mas formierskich.

Do realizacji projektu posłużyły następujące założenia konstrukcyjne:

- łatwość w przemieszczaniu urządzenia,
- dokładność pomiaru,
- możliwość regulacji,
- możliwość zmiany podzespołów urządzenia.

Stanowisku postawiono następujące wymagania:

- możliwość wykonania pomiaru średnicy standardowej kształtki walcowej,
- powtarzalność wykonanego pomiaru,
- możliwość wykonywania pomiaru średnicy kształtki na zadanych wysokościach.

W oparciu o powyższe założenia konstrukcyjne oraz postawione wymagania przy współpracy z Kołem Naukowym Wydziału Odlewnictwa AGH zostało wykonane prototypowe stanowisko badawcze do pomiaru ekspansji wysokotemperaturowej mas formierskich.

3.2. Pomiar ekspansji wysokotemperaturowej mas z uwodnionym krzemianem sodu przy wykorzystaniu nowego stanowiska badawczego

Badaniom poddano standardowe kształtki walcowe wykonane z sypkiej masy samoutwardzalnej z uwodnionym krzemianem sodu i ciekłym utwardzaczem o poniższym składzie:

Piasek kwarcowy	100,0 cz.wag.
Uwodniony krzemian sodu	2,5-3,0 cz.wag.
Flodur	0,25-0,3 cz.wag.

Woda 1,0 cz.wag.
 Dodatki Al₂O₃ 0,125 cz.wag.

Jako dodatek do mas zastosowano fazy α i γ -Al₂O₃ w celu poprawy ich wybijalności. Wstępne badania autorów dotyczące zastosowania niniejszych dodatków przedstawiono w odrębnej publikacji [19].

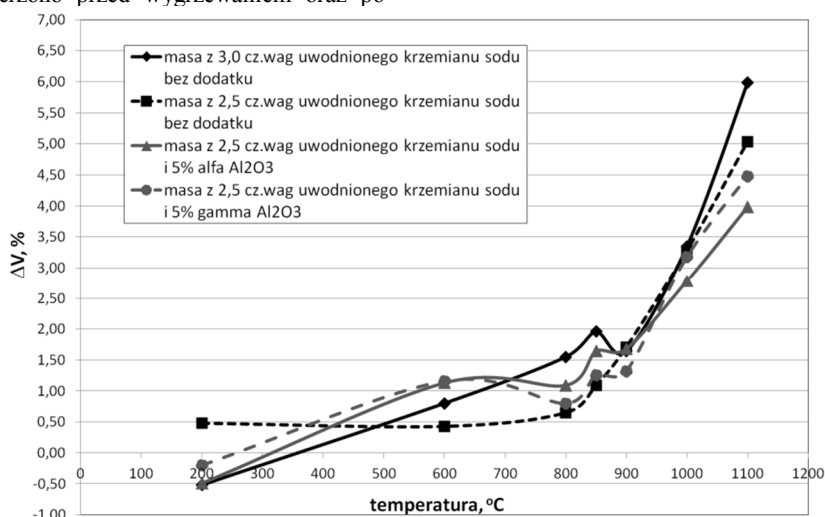
Pomiar ekspansji wysokotemperaturowej wykonywano na standardowych kształtkach walcowych (ϕ 50mm×50mm), dokonując pomiaru wysokości kształtek oraz ich średnicy w 10 różnych miejscach (na różnej, ale takiej samej dla wszystkich kształtek) wysokości. Wartość średnicy każdej kształtki uśredniano. Kształtki mierzono przed wygrzewaniem oraz po

wygrzewaniu. Wygrzewanie następowało w zakresie temperatur od 200 – 1100°C co 100° zgodnie z następującą metodyką.

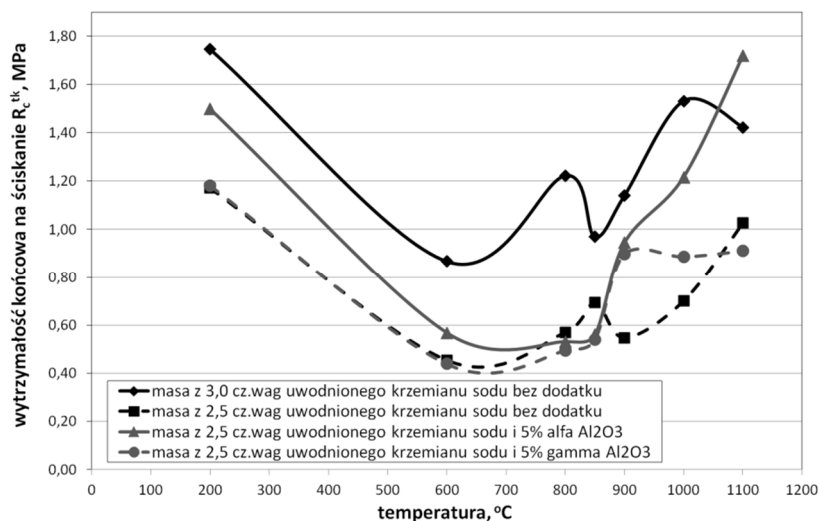
Utwardzone kształtki (po 24h utwardzania) poddano nagrzewaniu w laboratoryjnym piecu elektrycznym SNOL 8,2/1100 (P); przetrzymywano w danej temperaturze przez 30 min i studzono z piecem do temperatury otoczenia.

Taki sposób pomiaru ekspansji wysokotemperaturowej w kontekście porównania z pomiarem wybijalności w oparciu o przebieg krzywej R_c^{tk} wydaje się wg autorów bardzo korzystny, ponieważ oba pomiary prowadzone są na tych samych kształtkach.

Na rysunku 3 przedstawiono uzyskane wyniki badań.



Rys. 3. Wybijałość mas formierskich z uwodnionym krzemianem sodu i nowymi dodatkami oceniana w oparciu o pomiar ekspansji wysokotemperaturowej



Rys. 4. Wybijałość mas formierskich z uwodnionym krzemianem sodu i nowymi dodatkami oceniana w oparciu o pomiar wytrzymałości końcowej R_c^{tk}

3.3. Pomiar wytrzymałości końcowej na ściskanie mas z uwodnionym krzemianem sodu

Pomiarom wytrzymałości końcowej R_c^{tk} poddano kształtki wykonane z mas, utwardzane i wygrzewane zgodnie z metodyką podaną w rozdziale 3.2.

Na rysunku 4 przedstawiono uzyskane wyniki badań.

Przedstawione na rys. 3 i 4 wyniki badań wykazują, że rzeczywistość występują dość znaczne rozbieżności w przebiegach krzywych wytrzymałości końcowej R_c^{tk} oraz ekspansji wysokotemperaturowej badanych mas. Przy temperaturze 900°C i 1000°C masa wyjściowa z 2,5 cz. wag uwodnionego krzemianu sodu charakteryzuje się wartością wytrzymałości końcowej o ok. 50% niższą od masy wyjściowej z 3,0 cz. wag., podczas gdy przy tych temperaturach masy te posiadają taką samą ekspansję wysokotemperaturową. Z kolei przy temperaturze 1100°C masa z dodatkiem $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ wykazuje najwyższą spośród badanych mas wytrzymałość końcową, a jej ekspansja wysokotemperaturowa przy tej temperaturze jest najniższa. Wobec tak dużych rozbieżności wyników w przypadku obu metod, nasuwa się pytanie, która z nich jest prawidłowa.

Analiza danych literaturowych oraz badania własne [18] autorów wykazują, że w temperaturach za II maksimum na krzywej wytrzymałości końcowej R_c^{tk} bardziej miarodajnym kryterium oceny wybijałości będzie pomiar ekspansji wysokotemperaturowej, co udowodniono na przykładzie innego dodatku poprawiającego wybijałość mas z uwodnionym krzemianem sodu [18].

4. Wnioski

Na podstawie przedstawionych wyników badań można sprecyzować następujące wnioski:

- Zastosowanie metody oceny wybijałości mas z uwodnionym krzemianem sodu w oparciu o pomiar wytrzymałości końcowej R_c^{tk} za II maksimum na krzywej wytrzymałości masy jest niemiarodajne.
- Zastosowanie metody oceny wybijałości mas z uwodnionym krzemianem sodu w oparciu o pomiar ekspansji wysokotemperaturowej może być zdecydowanie bardziej prawidłową metodą pomiaru.
- Pomiar ekspansji wysokotemperaturowej powinien być jednym z istotnych kryteriów oceny wybijałości mas z uwodnionym krzemianem sodu.

Podziękowania

Badania finansowane z Pracy Statutowej AGH, nr 11.11.170.318 - 3

Literatura

- [1] Zadov, A.E. (2000). O mekhanizme formirovanija ostatochnoj prochnosti zhidkostekol'nych smesej. *Litejnoje Proizvodstvo*. 9, 38-39.
- [2] Vaškova, I. (2001). Kandidatska dizertacna praca, TU – Košice.
- [3] Wolff, A. & Steinhäuser, T. (2004). AWB – ein umweltverträgliches Kernherstellverfahren. *Giesserei*. 6, 80-82, 84.
- [4] Gosch, R. (2004). Die Entwicklung eines Kernfertigungssystems auf anorganischer Binderbasis zur Serienreife – Innovation und Nachhaltigkeit in idealer Umsetzung, *Giesserei Rund*. 7/8, 139-142.
- [5] Korzeniowska, M. & Baliński, A. (2003). Wpływ gęstości uwodnionego krzemianu sodu o ustalonym module krzemionkowym na rozkład cząstek koloidowych frakcji głównej i rozproszonej. *Materialove inženierstvo*. 10(3), 291-294.
- [6] Fleming, E., Polzin, H. & Kooyers, T.J. (1996). Beitrag zum Einsatz verbesserter Formtechnologien auf der Basis von Alkali-Silikat-Binderlösungen. *Giesserei-Prax*. 9-10, 177-183.
- [7] Nikiforov, A.P., Afonaskin, A.V. & Begma, V.A. (1997). Czgunnye otlivki raboczich koles nososov so sterznjami iz zhidkostekol'nych smesej. *Litejnoje Proizvodstvo*. 4, 13-14.
- [8] Marachovec, L.N. & Roznov, S.P. (1997). Smesi gorjaczego otverdenija na modifirovannom zhidkostekol'nom svjazujuszczem. *Litejnoje Proizvodstvo*. 10.
- [9] Stachowicz, M., Granat, K. & Nowak, D. (2011). Influence of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ on residual strength of microwave-hardened moulding sands with water-glass. *Archives of Foundry Engineering*. 11(spec. 2), 203-208 (in Polish).
- [10] Goberis, S. & Antonovich, V. (2002). Vlijanie dobavok na svojstva zhidkostekol'nych kompozicij. *Litejnoje Proizvodstvo*. 8, 22-24.
- [11] Dańko, J., Kamińska, J. & Skrzyński, M. (2013). Reclamation of spent moulding sands with inorganic binders in the vibratory reclaimer REGMAS. *Archives of Metallurgy and Materials*. 58(3), 993-996.
- [12] Nefedov, K.E. (2004). Legkovybvivaemye zhidkostekol'nye formovochnye i sterzhnevye smasi. *Litejnoje Proizvodstvo*. 1, 18-20.
- [13] Lewandowski, J.L. (1997). *Tworzywa na formy odlewnicze*, Kraków: Wydawnictwo Akapit.
- [14] Dobosz, St.M. (2006). *Woda w masach formierskich i rdzeniowych*. Kraków: Wydawnictwo Akapit.
- [15] Jelinek, P. (2004). *Pojivove soustavy slevarenskych formovacich smesi*. Ostrava
- [16] Dobosz, St.M., Jelinek, P. & Major-Gabryś, K. (2011). Development tendencies of moulding and core sands. *China Foundry*. 8(4), 438-446.
- [17] Major-Gabryś, K., Dobosz St.M. & Jakubski, J. (2013). Modified hydrated sodium silicate as a modern binder for ecological moulding sands. *Manufacturing Technology*. 13(1), 68-73.
- [18] Major-Gabryś, K., Dobosz, St.M., Jelinek, P., Jakubski, J. & Beno J. (2014). The measurement of high-temperature expansion as the standard of estimation the knock-out

properties of moulding sands with hydrated sodium silicate.
Archives of Metallurgy and Materials. 59(2), 749-752.

Archives of Foundry Engineering. 13(spec.3), 57-62. (in Polish)

[19] Kaźnica, N., Grabarczyk, A., & Major-Gabryś, K. (2013).
Modyfikacja uwodnionego krzemianu sodu, jako spoiwa do
sykkich mas samoutwardzalnych, przy użyciu Al_2O_3 .

The Analysis of Moulding Sands' Knock-Out Properties Measurement Methods

Abstract

The necessity of receiving high quality castings forces undertaking research to elaborate moulding and core sands ensuring obtaining the materials with relevant technological parameters and also with high environmental standards. Environmental friendly are moulding sands with inorganic binders. Unfortunately, their fundamental disadvantages are weak knock-out properties. The article presents the most commonly used methods of measuring the knock-out properties of moulding and core sands. The authors propose a new method for estimation this parameter of moulding sands with hydrated sodium silicate modified with nanoparticles of Al_2O_3 . The method is based on the measurement of high-temperature expansion.

There are shown moulding sands' knock-out properties estimated according to high-temperature expansion measurement and according to retained strength R_c^{tk} measurement. Authors proved that high-temperature expansion may be the standard of moulding sands' knock-out properties estimation.