

# Regeneracja mechaniczna i mechaniczno-termiczna zużytej masy rdzeniowej z procesu cold-box

R. Dańko<sup>a</sup>, M. Łucarz<sup>a</sup>, J. Dańko<sup>a</sup>

<sup>a</sup> AGH - University of Science and Technology, Faculty of Foundry Engineering,  
Reymonta 23 str., 30-059 Kraków, Poland

\*Corresponding author. E-mail address: rd@agh.edu.pl

Otrzymano 20.11.2014; zaakceptowano do druku 12.12.2014

## Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań regeneracji zużytej masy rdzeniowej pochodzącej z procesu cold-box. Badaniom poddano masy zużyte składające się głównie z niedopuszczonych do produkcji uszkodzonych rdzeni. Rdzenie te, nie podlegały destrukcji termicznej w formie, stąd ich dalsza obróbka mająca na celu odzyskanie osnowy kwarcowej wymagała zastosowania specjalnych technik pozwalających na efektywne oczyszczenie ziaren piasku z otoczki zużytego materiału wiążącego. W tym celu stosowano kombinację regeneracji mechanicznej o narastającym czasie obróbki w połączeniu z regeneracją termiczną. Odzyskane regeneraty były następnie poddane badaniom mającym na celu określenie ich stopnia oczyszczenia. Spośród znanych metod oceny instrumentalnej regeneratu w badaniach określano wartości: straty prażenia, odczynu pH, składu ziarnowego (analiza sitowa). Jako sprawdzian jakości regeneratu zastosowano badanie wytrzymałości na zginanie mas rdzeniowych sporządzonych na zregenerowanej osnowie.

**Słowa kluczowe:** zagospodarowanie odpadów, recykling osnowy mas zużytych, regeneracja kombinowana, masa rdzeniowa

## 1. Wprowadzenie

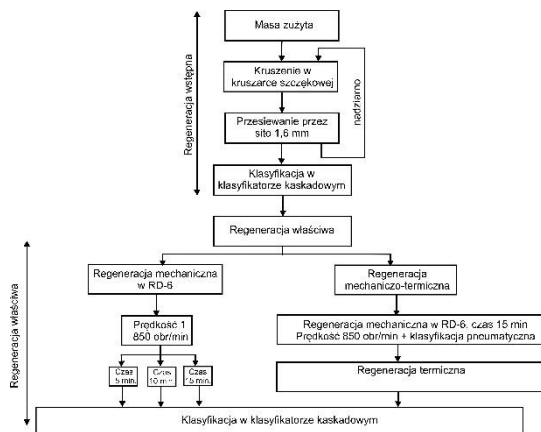
Proces cold-box jest aktualnie najczęściej stosowaną metodą produkcji skomplikowanych rdzeni o bardzo dużych wymaganiach zarówno pod kątem dokładności wymiarowej, jak i wytrzymałości. Szacuje się, że około 70% rdzeni stosowanych do skomplikowanych odlewów średnioseryjnych jest wykonywanych w tej technologii mającej szereg odmian technologicznych. W trakcie produkcji rdzeni, pewna ich ilość nie spełnia wymagań, najczęściej ze względu na uszkodzenia kształtu i wymiarów i jest traktowana jako braki nie nadające się do dalszego stosowania. W takim przypadku materiały są kwalifikowane jako odpady i stwarzają problem dla zakładu odlewniczego, związany z trudnością ich utylizacji głównie ze względu na trwałość, wytrzymałość i niekorzystne oddziaływanie na otoczenie.

Uszkodzone rdzenie mają charakterystyczną dla technologii cold-box bardzo wysoką wytrzymałość, co w tym przypadku stanowi ich wadę, w przeciwieństwie do sytuacji gdy są stosowane zgodnie z ich przeznaczeniem. Zapewnienie przez rdzenie prawidłowej funkcji wymaga bowiem w procesie wykonywania odlewów ich wysokiej odporności i wytrzymałości [1-2]. W przypadku wytrzymałość rdzeni jest właściwością pożądaną i nie stanowiącą źródła potencjalnych problemów. Po zalaniu ciekłym stopem odlewniczym i krystalizacji metalu wytrzymałość ta w znacznym stopniu zanika z powodu destrukcji termicznej spoiwa, czego objawem jest rozpad rdzeni podczas wybijania odlewu. Z punktu widzenia stanu masy, a przede wszystkim jej osnowy – zjawisko to jest nazywane zazwyczaj samoregeneracją termiczną masy rdzeniowej. Inna sytuacja występuje natomiast w przypadku rozpatrywanym w niniejszej publikacji, wówczas gdy

uszkodzone rdzenie nie podlegają nawet częściowemu procesowi destrukcji termicznej spoiwa i nadal charakteryzują się uzyskanymi wcześniej bardzo wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi. Czynniki utrudniającymi prawidłowy proces ich utylizacji w typowym procesie regeneracji mechanicznej jest zarówno zwarta postać, praktycznie nienaruszone połączenia międzyziarnowe i w pełni zachowane, pierwotne właściwości wytrzymałościowe utwardzonego spoiwa. Obróbka, mająca na celu odzyskanie osnowy kwarcowej wymaga uzupełnienia procesu regeneracji osnowy zastosowaniem specjalnych technik pozwalających na efektywne oczyszczenie ziaren piasku z otoczki zużytego materiału wiążącego. W artykule omówione zostały wyniki zastosowania obróbki regeneracyjnej będącej kombinacją regeneracji mechanicznej o narastającym czasie obróbki w połączeniu z regeneracją termiczną.

## 2. Program badań i przyjęte metody badawcze

W prezentowanych badaniach materiał do regeneracji stanowiły uszkodzone rdzenie z technologii cold-box, charakteryzujące się uzyskanymi wcześniej bardzo wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi i zwartą postacią. Elementem obróbki regeneracyjnej była realizacja czynności spełniające założenia regeneracji wstępnej, czyli rozdrobnienie, przesianie i odpylenie materiału o ziarnistości zlepek poniżej 1,6 mm. Proces regeneracji właściwej był realizowany na stanowiskach za pomocą wytypowanym metod pozwalających na realizację programu badawczego. Na rysunku 1 przedstawiono pełny cykl badań regeneracji wstępnej i właściwej, które prowadzono na stanowiskach laboratoryjnych, dostępnych w Hali Maszyn Odlewniczych Wydziału Odlewnictwa AGH.



Rys. 1. Schemat przeprowadzonych badań doświadczalnych

Efekty procesu regeneracji były analizowane pod kątem oceny jakości odzyskanego regeneratu za pomocą znanych metod oceny instrumentalnej regeneratu, które obejmowały:

- stratę prażenia,
- wskaźnik skuteczności regeneracji  $W_{SR}$ ,
- analizę sitową,
- odczyn pH,
- ilość pyłów generowanych w wyniku regeneracji,

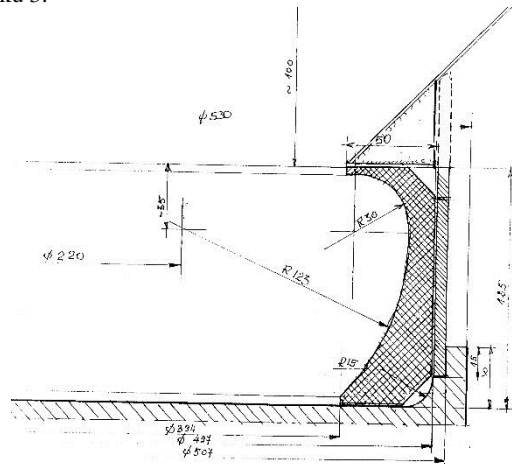
Ponadto określano wytrzymałość na zginanie próbek mas rdzeniowych sporządzonych na zregenerowanej osnowie.

## 3. Stanowiska doświadczalne

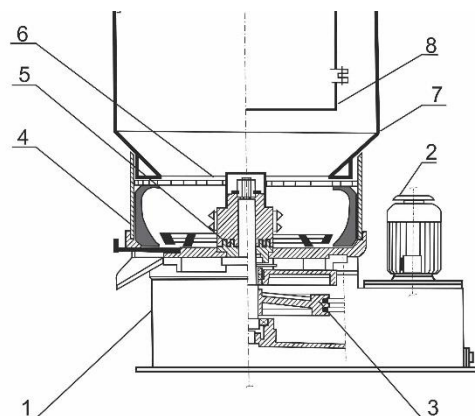
Badania regeneracji właściwej przeprowadzono z wykorzystaniem następujących urządzeń laboratoryjnych:

- doświadczalnego regeneratora wirnikowego RD-6

Układ stanowiska jest zbliżony koncepcyjnie do rozwiązania opracowanego przez D. Boenischa, przy wprowadzeniu innej konstrukcji członu regenerującego, którego kształt i wymiary przedstawiono na rysunku 2, a także podciśnieniowego sposobu wprowadzania powietrza do komory urządzenia oraz innego systemu pomiaru ilości ewakuowanych z powietrzem pyłów poregeneracyjnych [4]. Schemat doświadczalnego regeneratora wirnikowego, oznaczonego RD-6, wyposażonego w układ do automatycznego pomiaru on-line ilości pyłów generowanych w procesie obróbki ścierającej przedstawiono schematycznie na rysunku 3.



Rys. 2. Kształt i wymiary pierścienia o analitycznie określonym profilu ścierającym do regeneratora RD6



Rys. 3. Fragment schematu doświadczalnego regeneratora wirnikowego RD-6: 1 - podstawa urządzenia, 2 - silnik napędowy, 3 - przekładnia pasowa, 4 - pierścień obwodnicy regeneratora, 5 - wirnik z elementami ścierająco-kruszącymi, 6 - kierownica powietrza, 7 - obudowa komory odpylającej, 8 - drzwi rewizyjne [4]

– doświadczalny regeneratory termiczny

Proces regeneracji termicznej zrealizowano w doświadczalnym regeneratory termicznym [3]. Komora spalania wykonana jest ze stalowego korpusu, izolacji termicznej i wyłożenia z żarowytrzymałego betonu. Korpus pieca podtrzymywany jest na łożysku, dzięki czemu istnieje możliwość jego pochylecia dla łatwiejszego opróżnienia regeneratory (rys. 4).

Do komory regeneracyjnej przez przegubowe gniazda wprowadzone są palniki. Takie rozwiązanie konstrukcyjne umożliwia regulację strefy ich działania, a także usytuowania w określonej odległości na złożem wypalanej masy. Trzy palniki przewidziane w urządzeniu mogą być usytuowane na jednej ścianie korpusu pieca, ale istnieje także możliwość przestawienia jednego palnika na przeciwległą stronę. Zmienne usytuowanie palników tworzy różne warunki pracy w opracowanej komorze regeneracyjnej.

W komorze dno fluidyzacyjne podzielone jest na trzy sekcje, co stwarza możliwość realizacji fluidyzacji złoża w różny sposób np. całe dno jest zasilane powietrzem, bądź poszczególne sekcje w sposób sekwencyjny. Zastosowanie takiego trybu fluidyzacji ma zapobiec zbyt niemu wychładzaniu całego złoża, co może mieć wpływ na wydłużenie czasu regeneracji termicznej.

Na wylocie z komory jest zainstalowany wymiennik ciepła pozwalający na wykorzystanie odzyskanego ciepła do podgrzania powietrza do fluidyzacji.



Rys. 4. Widok doświadczalnego regeneratory termicznego

## 4. Wyniki badań

Wyniki badań przedstawiono zbiorczo w tabelach 1-2 oraz graficznie na rysunkach 5 i 6.

Analiza wartości straty prażenia masy zużytej i regeneratory oraz wskaźnika skuteczności regeneracji  $W_{SR}$  (tabela 1, rys. 5) wskazuje, że w przypadku prowadzenia obróbki regeneracyjnej metodą mechaniczną, wartość straty prażenia uzyskanego produktu maleje wraz ze zwiększaniem się czasu regeneracji osiągając wartość 1,38% po 15 minutach, co przy uwzględnieniu wartości 2,11% dla masy zużytej wyznacza wartość wskaźnika skuteczności regeneracji  $W_{SR}$  na poziomie około 35%. Dodatkowy zastosowany dla tak przygotowanej osnowy proces regeneracji termicznej znacznie wpływa na jakość regeneratory, który zbliża się do

parametrów uzyskiwanych dla świeżego piasku kwarcowego. W tym przypadku strata prażenia odzyskanej osnowy wynosi 0,04%, a skuteczności procesu odzysku przekracza poziom 98%.

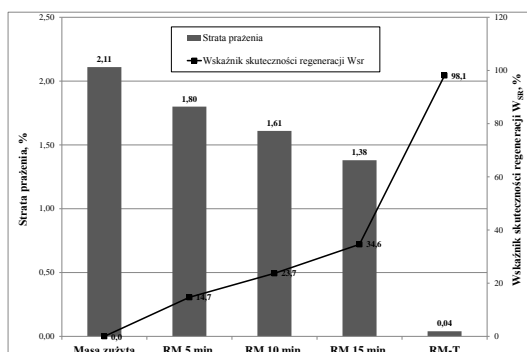
Tabela 1. Wyniki badań jakości regeneratory

Metoda regeneracji	Strata prażenia	Wsk. $W_{SR}$	Odczyn pH	Ilość pyłów	Średnia średnica $d_a$
	%	%	/	%	mm
MZ	2,11	0,00	8,12	0,00	0,283
RM 5 min.	1,80	14,69	7,89	1,21	0,274
RM 10 min.	1,61	23,70	7,82	1,68	0,268
RM 15 min	1,38	34,60	7,67	2,45	0,260
RM-T	0,04	98,10	7,27	0,15	0,258

MZ – masa zużyta

RM – regeneracja mechaniczna

RM-T – regeneracja mechaniczno-termiczna



Rys. 5. Strata prażenia oraz wskaźnik skuteczności regeneracji  $W_{SR}$  uzyskane w wyniku przeprowadzonych badań

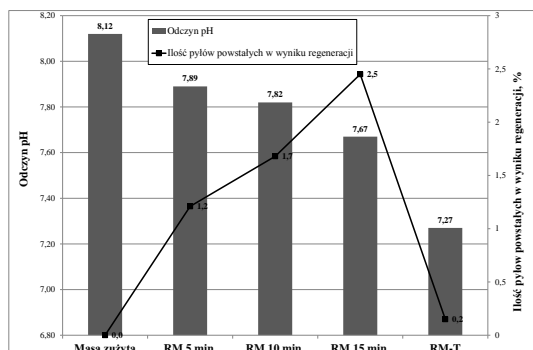
Na rysunku 6 przedstawiono wyniki analizy odczynu chemicznego dla uzyskanych regeneratory oraz ilości pyłów powstałych w wyniku prowadzenia procesu. Można zauważyć, że podobnie jak w przypadku straty prażenia, również i odczyn pH regeneratory maleje wraz ze wzrostem intensywności regeneracji mechanicznej, jakkolwiek otrzymany efekt nie jest do końca satysfakcjonujący. Pozostający wciąż na ziarnach osnowy zużyty materiał wiążący ma nadal silny wpływ na odczyn chemiczny odzyskanego produktu. Dopiero regeneracja termiczna wprowadza istotną zmianę, w wyniku której charakter chemiczny regeneratory zbliża się do poziomu wykazywanego przez świeży piasek kwarcowy.

Analiza ilości pyłów powstających w wyniku procesu regeneracji wskazuje, że największa ich ilość powstaje w wyniku oddziaływania tarcowego w regeneratory mechanicznym, co jest zgodne z wcześniejszymi doświadczeniami uzyskanymi w tym zakresie [1]. Proces regeneracji termicznej powoduje powstanie niewielkiej ilości pyłów, traktowanych jako odpad.

Regeneratory uzyskany w różnych warunkach i sposobach obróbki regeneracyjnej w tym kombinacji obu sposobów obróbki (RM 15 min. i RM-T) posłużyły do sporządzenia mas rdzeniowych, których udział osnowy zamieszczono w tabeli 2. Jako spoiwo stosowano żywicę Gasharz - 0,7% cz. mas. w stosunku do osnowy, aktywator - również 0,7% cz. mas., a także katalizator GH-6.

Próbki masy rdzeniowej do badania wytrzymałości wstrzeliwano do rdzennicy (strzelarka doświadczalna LUT-c - firmy Multiserw Morek) i utwardzano metodą cold-box. Rdzenie

wykonywano przy ciśnieniu strzału wynoszącym 5 atm. Określano wytrzymałość na zginanie po czasie odstawania kolejno wynoszącym 1h, 4h i 24 h. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 6. Odczyn pH regeneratów oraz ilość pyłów powstałych w wyniku regeneracji mechanicznej i termicznej regeneracji osnowy poddanej mechanicznej obróbce regeneracyjnej przez 15 min.

Tabela 2. Wyniki badań wytrzymałości na zginanie próbek masy formierskiej sporządzonych z regeneratem RM 15 min i RM-T

Osnowa	$R_g^u$ 1h	$R_g^u$ 4h	$R_g^u$ 24h
	MPa	MPa	MPa
Świeży piasek	2,79	2,99	3,14
RM 15 min.	1,87	2,02	2,23
RM 15 min. (75%) + piasek świeży (25%)	2,09	2,24	2,45
RM 15 min. (50%) + piasek świeży (50%)	2,44	2,61	2,76
RM-T	2,47	2,69	2,87
RM-T (75%) + piasek świeży (25%)	2,55	2,72	2,94
RM-T (50%) + piasek świeży (50%)	2,69	2,89	3,07

Analiza danych przedstawionych w tabeli 2, pozwala zauważyć, że dla masy rdzeniowej z regeneratem po obróbce mechaniczno-termicznej wytrzymałości na zginanie  $R_g^u$  ma wartość najbardziej zbliżoną do uzyskiwanej dla masy rdzeniowej ze świeżą osnową.

Wytrzymałość mas przygotowanych z regeneratem po regeneracji mechanicznej ma niższe wytrzymałości, co można poprawiać kompensując występujący ubytek poprzez dodatek odpowiedniej ilości świeżego piasku kwarcowego.

## Mechanical and Thermo-mechanical Reclamation of Used Cold-box Sand

The paper presents the results of the regeneration of the spent core sand from cold-box process. The study concerned the reclamation treatment of foundry cores which was not allowed to production process due to their not permissible defects. These cores as a compacted core sand which not been subjected to thermal destruction in the mould had fully preserved their previous characteristic eg. strength, shape and volume hardening. In this case regeneration aimed at recovering the quartz matrix requires the use of special techniques to clean the grains of sand from the used binding material. To solve this problem the special preparing of used cores were applied ensuring the proper grain size composition subjected to dedusting prior to reclamation treatment. Both the mechanical and mechanical-thermal methods of regeneration were tested during research. The recovered the quartz matrix was evaluated by following of well known instrumental tests: loss on ignition, pH value, sieve analysis, dust content. Furthermore reclaim was used to prepare core sand and to perform test bending strength tests.

## 5. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na przedstawienie następujących wniosków końcowych:

- odzysk osnowy z nieprzealonej masy zużytej, pochodzącej z procesu cold-box jest technologicznie trudny i wymaga zastosowania maszyn i urządzeń intensywnie oddziałujących na zużytą osnowę;
- proces regeneracji mechanicznej tego typu mas zużytych nie powoduje całkowitego oczyszczenia ziaren z otoczki zużytego materiału wiążącego. W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano stopień oczyszczenia na poziomie około 38%, co jak się wydaje stanowi granicę dalszego oczyszczania mechanicznego, które mogłoby powodować uszkodzenie mechaniczne ziaren osnowy;
- najbardziej skuteczną metodą odzysku badanych mas zużytych jest kombinacja sposobów: mechanicznego i termicznego, która jest w stanie zapewnić praktycznie 100% stopień oczyszczenia osnowy z pozostałości zużytego spoiwa. Masa rdzeniowa charakteryzuje się w tym przypadku właściwościami zbliżonymi do uzyskiwanych dla świeżego piasku kwarcowego jako osnowy.

## Podziękowania

Badania zrealizowano w ramach pracy statutowej AGH, nr 11.11.170.318, zad. 2

## Literatura

- [1]. Dańko J., Dańko R., Łuczczak M., (2007). *Procesy i urządzenia do regeneracji osnowy zużytych mas formierskich*. Kraków: Wydawnictwo Naukowe „Akapit”.
- [2]. Izdebska-Szanda I., Angrecki M., Palma A. (2013). *Recycling of waste moulding sands with new binders*. Archives of Foundry Engineering. 13 (2), 43-48.
- [3]. Łuczczak M. (2013). *Utilisation of the reclaim from the cold-box technology in the core sands production*. Archives of Foundry Engineering 13(spec. iss.3), 107-112
- [4]. Dańko R. (2012). *Strength model of self-setting moulding sands with synthetic resins in an aspect of the of the integrated matrix recycling process*. Gliwice. Archives of Foundry Engineering Publishing House, 193 pages.