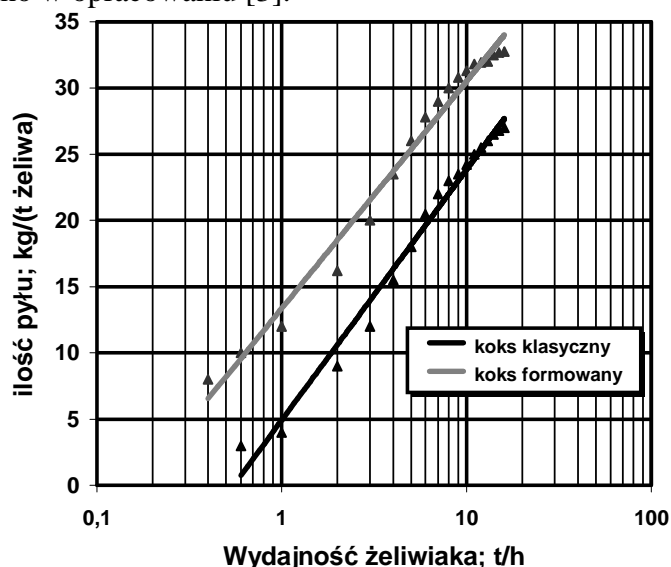


AKTUALNE TENDENCJE W ZAKRESIE MECHANIZACJI PROCESÓW UTYLIZACJI ODPADÓW PYŁOWYCH – ZASTOSOWANIA W ODLEWNICTWIE

Krzysztof. SMYKSY ¹

1. Wstęp

Ekologiczne i ekonomiczne czynniki zmuszają odlewnie do większego zainteresowania problematyką zagospodarowania odpadów. Dotyczy to zwłaszcza odpadów pyłowych ze względu na ich niekorzystną postać, związane z tym wysokie opłaty oraz szkodliwość dla środowiska. Wprowadzanie skutecznych metod odpylania prowadzi do zwiększania ilości pyłów zatrzymanych w odlewni. Wdrażanie skutecznych metod wykorzystania tych pyłów, zgodnych z zasadami ochrony środowiska i ekonomicznie opłacalnych jest konieczne [3, 5]. Ilość pyłów emitowanych podczas odlewniczych procesów technologicznych jest zróżnicowana i zależna od warunków w danej odlewni. Wartości emisji zawierają się w szerokich granicach – dokładne ich określenie wymaga czasochłonnych pomiarów oraz znajomości struktury i charakterystyki wyposażenia odlewni (np. skuteczności zastosowanych odpylaczy). Przytaczane w literaturze [3, 12] przybliżone wskaźniki ujmujące stosunek ilości pyłów do masy wytworzonych odlewów, ułatwiają wstępną ocenę emisji pyłów w zależności od wydajności odlewni. Pokazują też skalę problemów jakie stwarza zagospodarowanie pyłów w odlewni. Ich przykładowe wartości [12] wynoszą: topienie żeliwa w żeliwiaku – przeciętnie 16 kg/ tonę odlewów, procesy przygotowania masy formierskiej (łącznie) - 5,8 kg/ t odl., zalewanie form i chłodzenie w tunelu - 0,02 kg/t odl., wybijanie odlewów z form wilgotnych - 0,8 kg/t odl., oczyszczanie i wykańczanie (łącznie) - 5,4 kg/t odl. Obszerne, szczegółowe dane dotyczące wielkości emisji pyłów w różnych procesach technologicznych realizowanych w odlewniach podano w opracowaniu [3].



Rys. 1. Zależność ilości emitowanych pyłów od wydajności żeliwiaka [10].

¹ dr inż., kmysy@agh.edu.pl, Wydział Odlewnictwa AGH, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

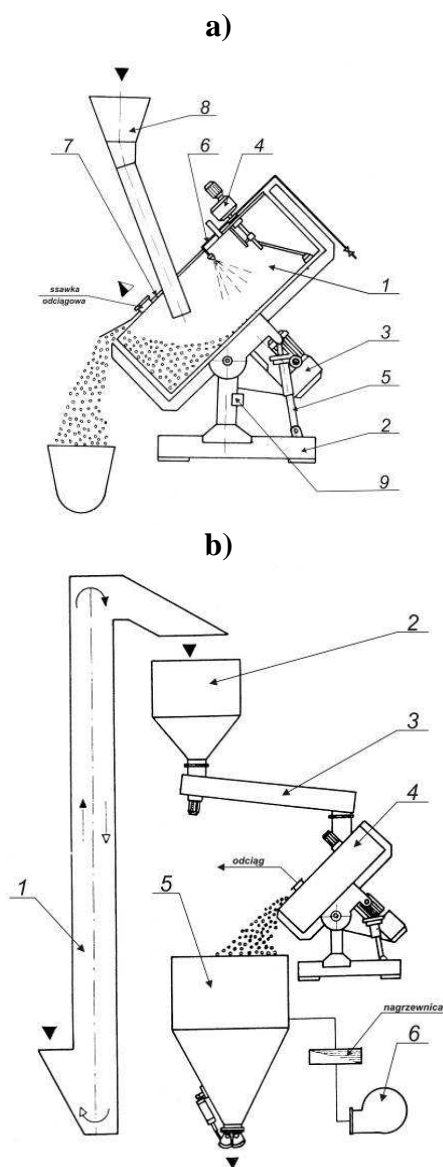
Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe dane dotyczące emisji pyłów podczas wytapiania żeliwa w żeliwiakach o różnej wydajności.

Różnorodność procesów jest przyczyną bardzo zróżnicowanych właściwości emitowanych pyłów (skład chemiczny, mineralogiczny i granulometryczny). Warunkuje to możliwości ich zagospodarowania [3, 5, 9, 13]. Wysokie opłaty za składowanie pyłów wymuszają jednak działania zmierzające do ich utylizacji. Możliwe jest bezpośrednie wykorzystanie pyłów w innych dziedzinach przemysłu, na przykład w przemyśle materiałów ceramicznych, drogownictwie [3, 5] lub też ponowne wprowadzenie pyłów do obiegu technologicznego z ewentualnym odzyskiem użytecznych składników i dalszym wykorzystaniem w zmienionej postaci [3, 7, 9, 10]. Każda z wymienionych możliwości ma swoje ograniczenia i wymaga spełnienia szeregu warunków [2,3,5]. Możliwość ponownego wprowadzenia pyłów do obiegu technologicznego (przy spełnieniu określonych wymagań) została wykazana w praktyce. Przykładem mogą być instalacje realizujące zwrot do obiegu pyłów zawierających bentonit aktywny zatrzymanych w systemach odpylania chłodziarek masy formierskiej [3]. Największe możliwości ponownego wprowadzenia pyłów do obiegu technologicznego stwierdzono w przypadku topialni. Dotyczy to zarówno topialni wyposażonych w piece łukowe, obrotowe jak i żeliwiaki [2, 3, 4, 5, 13]. Ze względu na zakres zastosowania i cechy procesu duże znaczenie należy przypisać procesowi recyklingu pyłów w żeliwiakach [2, 3, 7, 8]. Najszerzej obecnie stosowane jest wdmuchiwanie pyłów. Opiswane są również procesy polegające na zagęszczaniu pyłów do postaci brykietów czy grudek i wprowadzanie ich do żeliwiaka ze wsadem. Nie stwierdzano pogorszenia procesu metalurgicznego czy wyraźnie zwiększonej emisji pyłów [3, 7, 11, 13]. Przy zachowaniu zasad bilansu materiałów sugeruje to zmianę postaci pyłów i ich przejście do żużla. Jest to już wymierną korzyścią ze względu na zróżnicowanie opłat za odpady stałe i pyłowe, oraz łatwiejszą utylizację żużla (wykorzystanie w przemyśle materiałów budowlanych). Ponadto należy wskazać na możliwość odzysku wybranych pierwiastków (na przykład Zn, Fe) lub też ograniczenie emisji do atmosfery pierwiastków szkodliwych. Pomimo, że w zawracanych pyłach żeliwiakowych występuje koksik [10], a w pyłach z pochodzących z instalacji odpylania formierni i rdzeniarni występuje węgiel i jego związki (pył węglowy, spoiwa organiczne), to w praktycznych warunkach przy recyklingu pyłów może występować zwiększone zużycie koksu. Porównanie metod recyklingu pyłów poprzez wdmuchiwanie przez dysze i wprowadzania w postaci grudek (pelet) do wsadu zamieszczono w pracy [3]. Jednoznaczna, ilościowa ocena techniczno - ekonomiczna obu metod zawracania pyłów do procesu żeliwiakowego wymagałaby jednak trudnych technicznie badań i analiz prowadzonych w jednakowych warunkach technologicznych. Przy wprowadzaniu pyłów metodą wdmuchiwania zaletą jest możliwość automatyzacji procesu, brak dodatkowych operacji związanych z zagęszczaniem pyłów. Jako możliwe ograniczenia wymienia się obniżenie temperatury płomienia (przy stosowaniu palników), obciążenie wewnętrznych elementów instalacji lepkiem pyłem [3]. Przy brykietowaniu pyłów zwraca się uwagę na: konieczność starannej kontroli procesu przygotowania brykietów o założonych właściwościach, trudności w automatyzacji procesu, możliwość zagospodarowania większej ilości odpadów.

W procesie brykietowania możliwe jest też tworzenie mieszanek odpadów, np. wiórów z obróbki mechanicznej i pyłów [10, 14]. Postać brykietów stwarza lepsze warunki do odzyskania użytecznych pierwiastków. Podkreślenia wymaga również szeroka oferta urządzeń do brykietowania o zróżnicowanych parametrach technicznych. W ramach artykułu omówiono w zarysie drugi z wymienionych wariantów utylizacji, kładąc nacisk na omówienie charakterystyki i parametrów urządzeń stosowanych do zagęszczania odpadów (również pyłowych).

2. Charakterystyka procesów i urządzeń do zagęszczania pyłów

Wprowadzenie pyłów bezpośrednio do wsadu wymaga ich zagęszczenia. Zastosować można dwie dostępne, dobrze opanowane techniki: grudkowanie lub brykietowanie. Uzyskanie grudek o odpowiedniej wytrzymałości wymaga zwykle dodatkowych zabiegów: dużego rozdrobnienia materiału, stabilizacji jego wilgotności i zastosowanie materiału wiążącego. Ich wymiary są stosunkowo niewielkie, a stopień zagęszczenia mały [1, 6]. Do sporządzania grudek (granulatu) stosowane są często granulatory talerzowe- rys.2 [1]. W kraju rozwiązania tych urządzeń oferowała firma Opam z Katowic (trzy wielkości) [15]. Średnice talerza obejmowały zakres od 1200 mm (GP-1200) do 2200 mm (GP-2200); moc urządzeń mieściła się w zakresie od 3,5 do 27 kW a prędkość obrotowa od 15 do 29 obr/min.



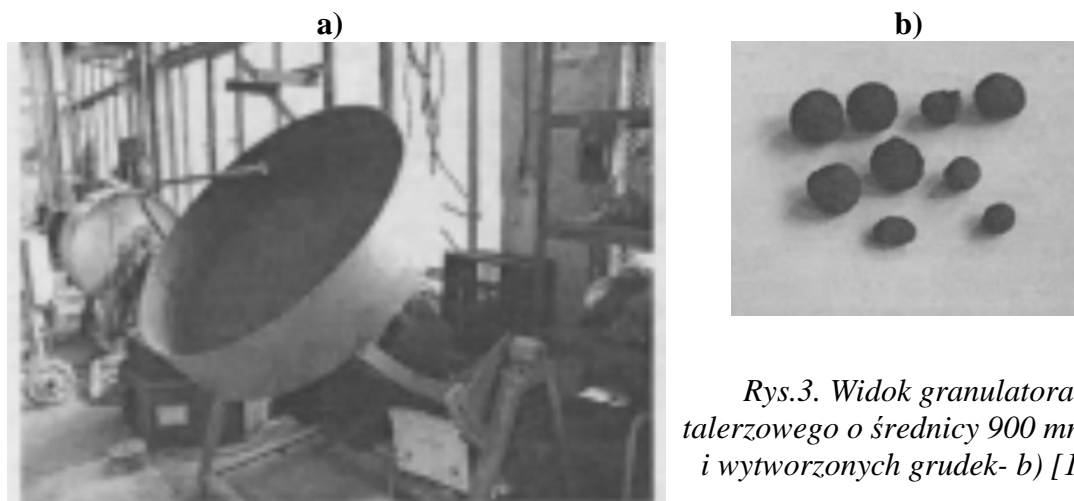
Rys.2. Schematy granulatora talerzowego firmy OPAM- Katowice [15]

a): 1-talerz z burtą, 2- konstrukcja nośna, 3- napęd, 4- zespół skrobaków, 5- mechanizm regulacji nachylenia talerza, 6- zespół natryskowy wody, 7- obudowa, 8- zasyp pyłu, 9- panel sterowania;

b) instalacja granulowania pyłów: 1- przenośnik, 2- zasobnik pyłu, 3- podajnik, 4- granulator talerzowy, 5- zasobnik granulatu, 6- wentylator

Grudki pyłów (nazywane również peletami) dodawane są do różnych pieców odlewniczych: żeliwiaków, pieców łukowych, pieców indukcyjnych. W pracy [17] opisano wykonywanie grudek z wykorzystaniem granulatora talerzowego – rys.3. Grudki wytwarzano z pyłów powstających w oczyszczalni (po ich wstępnej separacji magnetycznej). Grudki były przeznaczone do ponownego wprowadzenia do pieców indukcyjnych. W zależności od pochylenia miski granulatora uzyskiwano grudki o średnicy 4 do 21 mm (rys.3).

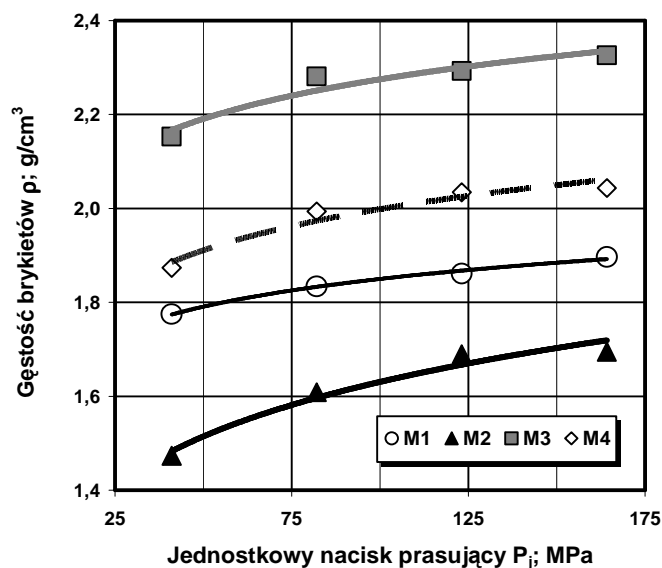
Przykłady zastosowania tej metody zagęszczania pyłów odlewniczych przedstawiono także w opracowaniu [3].



Rys.3. Widok granulatora talerzowego o średnicy 900 mm- a) i wytworzonych grudek- b) [17].

Metodą konkurencyjną w stosunku do grudkowania jest brykietowanie - umożliwiające uzyskanie większego stopnia zagęszczania materiału, a tym samym wyższych wytrzymałości brykietów. Materiał drobnoziarnisty przyjmuje formę brykietów o żądanym kształcie i wymiarach geometrycznych oraz o określonej wytrzymałości. Na właściwości brykietów wpływają: skład mieszanki, sposób jej przygotowania oraz dobór urządzenia brykietującego i parametrów jego pracy. Ważne są również warunki przechowywania brykietów do momentu ich wykorzystania. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe wyniki brykietowania w matrycy zamkniętej pyłu żeliwiakowego: oddzielonego w cyklonie- pył gruby oraz pyłu oddzielonego w odpylaczu suchym - pył drobny.

Oznaczenie mieszanki	Zawartość składnika; cz. wag.						Wilgotność mieszanki %
	Pył drobny	Pył gruby	Wióry żeliwne	Bentonit	Szkło wodne	Wapno hydratyzowane	
M1	100	-	-	2,5	-	-	4,9
M2	-	100	2,5	-	-	-	5,3
M3	37,5	37,5	20	2,5	-	-	6,3
M4	50	50	-	-	5	3	7,5



Rys.4. Wpływ jednostkowego nacisku prasującego P_j na gęstość brykietów ρ , sporządzonych z różnych mieszanek (wybrane dane z publikacji [10])

Szczegółowe dane dotyczące warunków badań zamieszczono w pracy [10]. Podstawowym parametrem decydującym o właściwościach otrzymanych brykietów była ich gęstość, warunkująca ich właściwości wytrzymałościowe [1, 6, 10]. Wyniki zamieszczone na rysunku 1 wskazują na możliwość wpływania na gęstość brykietów poprzez odpowiedni skład mieszanki.

Związek pomiędzy gęstością brykietów i naciskiem prasowania opisywano licznymi równaniami empirycznymi; ich dyskusję przeprowadzono w pracy [6]. Do opisu danych zamieszczonych na rysunku 1 wykorzystano jedną z cytowanych zależności - formułę Johnsona:

$$p_{\alpha_y} = p_{\alpha_0} \left(\frac{\rho_{\alpha_y}}{\rho_{\alpha_0}} \right)^K \quad (1)$$

w której:

p_{α_y} - nacisk jednostkowy w dowolnej fazie procesu zagęszczania,

p_{α_0} - nacisk jednostkowy w końcowej fazie procesu zagęszczania

$\rho_{\alpha_y}, \rho_{\alpha_0}$ - gęstość materiału w wymienionych fazach procesu zagęszczania,

K - stała Johnsona, uwzględniająca właściwości zagęszczanego materiału

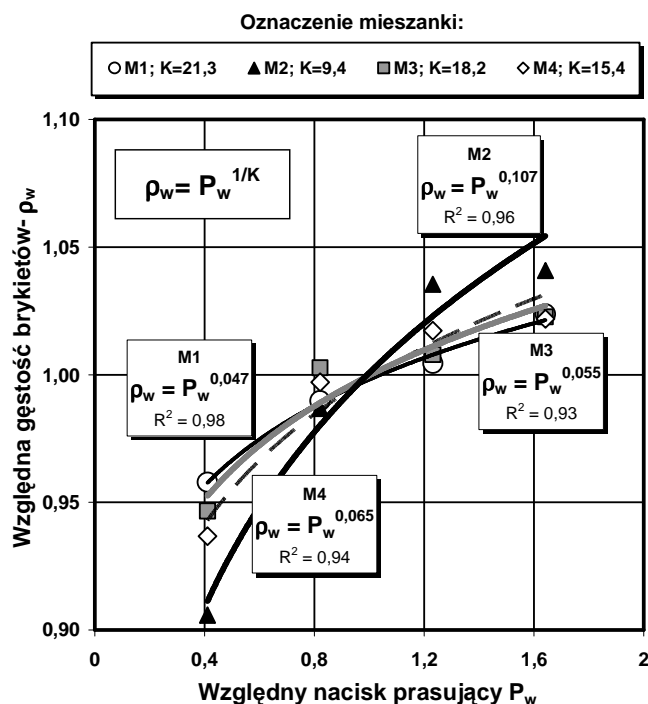
Przedstawioną powyżej formułę przekształcono do postaci:

$$\rho_w = p_w^{\frac{1}{K}} \quad (2)$$

w której:

$$\rho_w = \frac{\rho_{\alpha_0}}{\rho_{100}} - \text{gęstość względna}, \quad p_w = \frac{P_{\alpha_0}}{P_{100}} - \text{nacisk względny}$$

Jako poziom odniesienia przyjęto gęstość ρ_{100} uzyskaną przy nacisku $p_{100} = 100$ MPa. Wyniki obliczeń i doświadczeń zestawiono na rysunku 5.



Rys.5. Wpływ względnego nacisku prasującego P_w na względną gęstość brykietów ρ_w , sporządzonych z różnych mieszank (składy mieszank- rys.1)

Jak wynika z rysunku 5 dane doświadczalne są dobrze opisane zaproponowanym równaniem. Korzystna jest również jego bezwymiarowa postać. W podwójnym układzie logarytmicznym odwrotność stałej Johnsona- K jest współczynnikiem kierunkowym prostej. Jej wartość można wykorzystać do wstępnej oceny procesu brykietowania materiału ziarnistego: im większa wartość współczynnika K tym mniejsze zmiany zagęszczenia przy wzroście nacisku. Analizując dane z rysunku 2 widoczny jest wpływ pyłu drobnego w składzie mieszank na wartość stałej K. Formuła (1) może być również wykorzystana do wstępnej, przybliżonej oceny jednostkowej pracy zagęszczania w procesie brykietowania - L_j (odniesionej do jednostki masy brykietowanego materiału). Jej wartość uznawana jest przez niektórych badaczy za wskaźnik podatności materiału na brykietowanie [6]. Zakładając stałość masy materiału w matrycy zamkniętej, po prostych przekształceniach i wykonaniu całkowania, uzyskuje się następującą zależność:

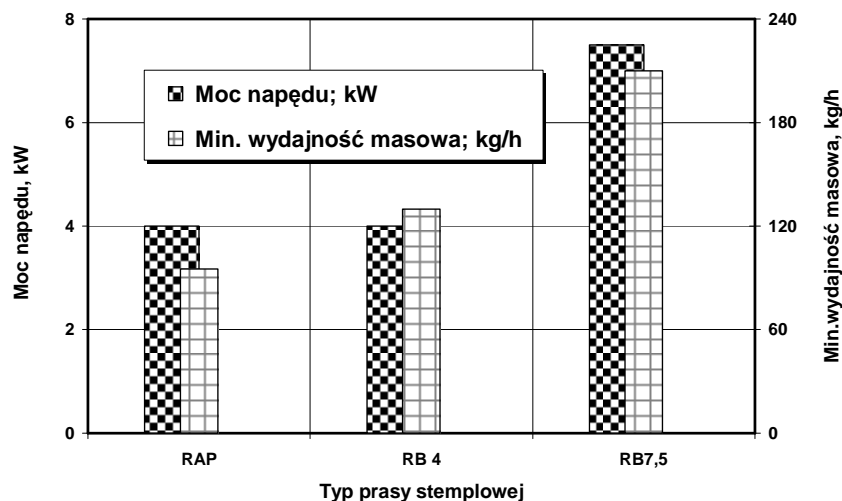
$$L_j = \frac{1}{(K-1)} \cdot \frac{P_{\alpha_y}}{\rho_{\alpha_y}^K} \cdot (\rho_{\alpha_0}^{K-1} - \rho_0^{K-1}) \quad (3)$$

W którym:

ρ_0 - gęstość początkowa materiału w matrycy

Jak wynika z powyższego wzoru jednostkowa praca jest (między innymi) potęgową funkcją gęstości końcowej brykietu. Przy stosunkowo dużych wartościach stałej K nakłady energetyczne rosną więc bardzo szybko w stosunku do uzyskiwanych przyrostów gęstości brykietu (i jego wytrzymałości). Bardzo ważne jest więc określenie optymalnego zakresu nacisków jednostkowych. Zależność (3) wskazuje korzystny wpływ zagęszczenia

wstępnego na zmniejszenie nakładów energetycznych podczas procesu brykietowania. W przemysłowych prasach walcowych występują podajniki materiału. Ich pozytywna rola podkreślana jest w wielu publikacjach z zakresu brykietowania [1, 6]. Powyżej w zarysie przedstawiono czynniki charakteryzujące proces brykietowania. Wymagane są szersze badania i analizy [1, 6, 14].



Rys.6. Zestawienie mocy napędu i wydajności wybranych pras stemplowych firmy RUF GmbH & Co. KG. Dane z [14,15].

Oferta urządzeń do brykietowania obejmuje różnorodne rozwiązania konstrukcyjne: prasy stemplowe, ślimakowe, pierścieniowe i walcowe. Najczęściej są obecnie stosowane prasy walcowe i stemplowe. Prasy stemplowe oferuje bardzo wiele firm- od urządzeń o mniejszej wydajności do urządzeń bardzo dużych [14]. Przykładowo na rysunku 6 zestawiono podstawowe parametry wybranych pras stemplowych firmy RUF GmbH & Co.KG o mniejszej wydajności [14].

W tabeli 1 zestawiono przykładowe dane dużych pras stemplowych firmy Metso Lindemann GmbH zalecanych między innymi do brykietowania wiórów metali [14].

Tab. 1. Wybrane parametry pras do brykietowania wiórów metali firmy Metso Lindemann GmbH oraz właściwości brykietów [14,15]

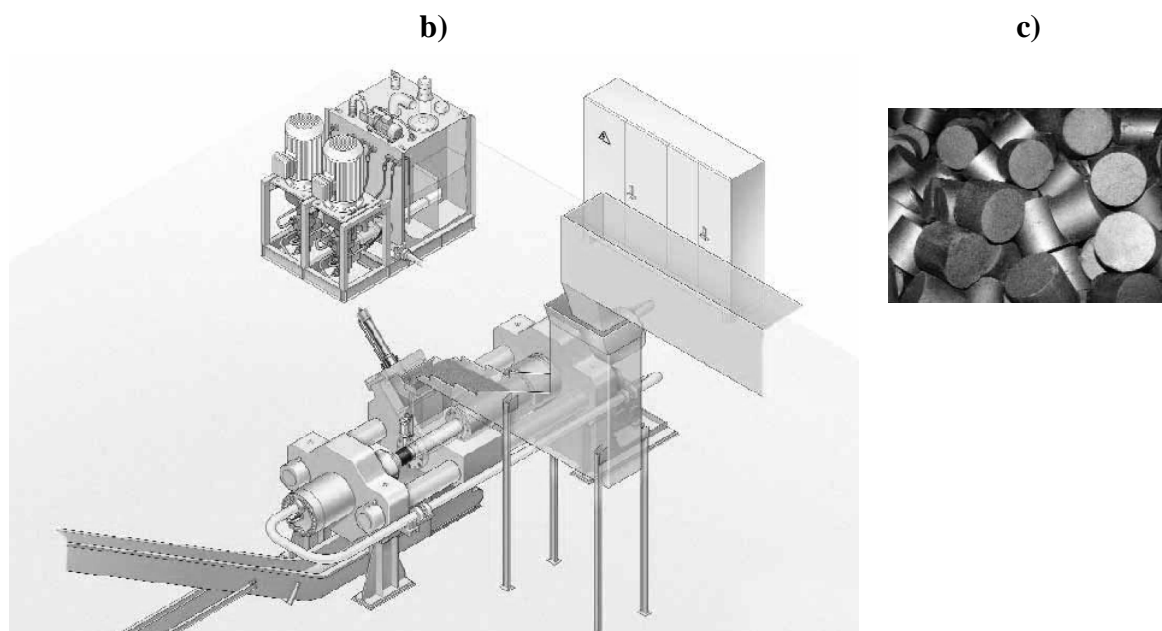
Typ prasy	Wydajność	Moc nom.	Materiał brykietu	Gęstość brykietu ₁	Wymiary brykietu ¹		Masa brykietu ₁
					Ø	H	
-	t/h	kW	symb.	kg/dm ³	mm		kg
MUB 250	0,9-3,3	90	St	4,2-5,5	85-120	50-115	1,5-5,5
	2,3-2,7		ŻSz	4,7-5,5	95	95-135	3,7-4,5
MUB 630	3,1-9,8	180	St	4,2-5,5	140-195	85-185	7,2-23,2
	7,0-8,3		ŻSz	4,7-5,5	155	155-220	16,1-19,5

ST- wióry stalowe, ŻSz- Wióry żeliwne (żeliwo szare);wartości orientacyjne zależne od gęstości usypowej i właściwości materiału

Widok i schemat prasy stemplowej tej firmy przedstawia rysunek 7. Na rysunku zamieszczono również widok wytworzonych z wiórów metalowych brykietów.

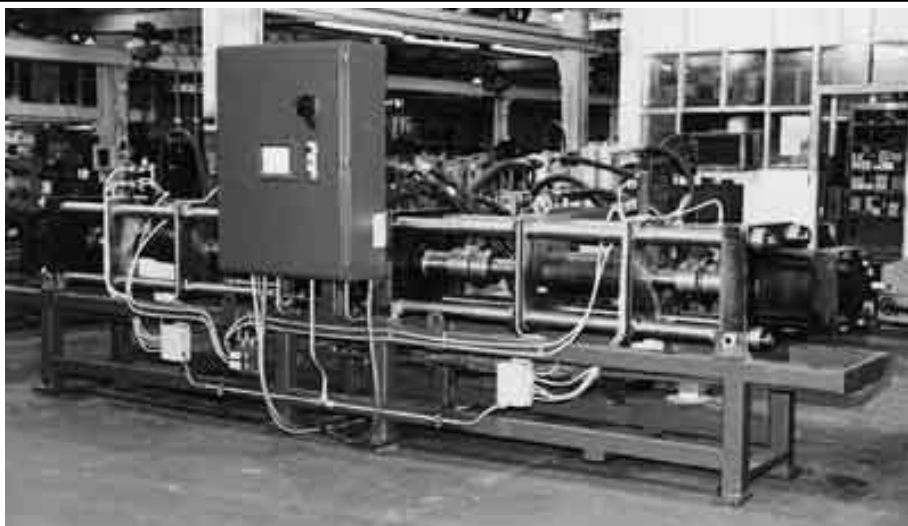


Rys.7a. Widok prasy stemplowej firmy Metso Lindemann GmbH [14, 15]



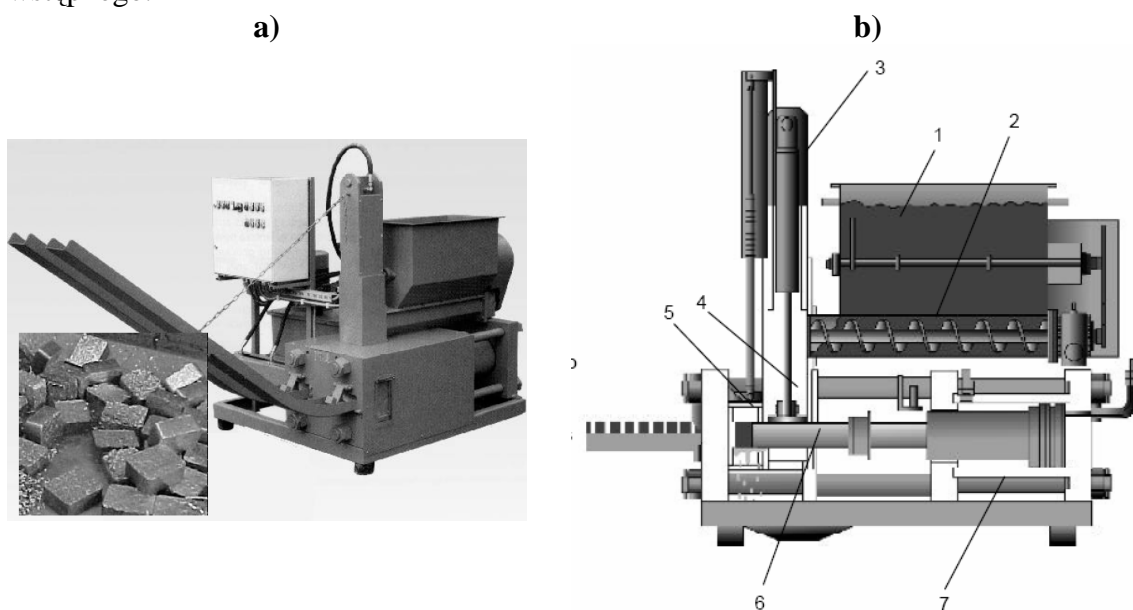
Rys.7 b, c. Schemat działania prasy stemplowej (b) firmy Metso Lindemann GmbH oraz widok brykietów (c) [14, 15].

Rysunek 8 przedstawia widok prasy stemplowej amerykańskiej firmy EMI Inc., oferującej również maszyny i urządzenia odlewnicze [14]. Firma proponuje wprowadzanie brykietów do pieców odlewniczych.



Rys.8. Widok prasy stemplowej Briq-King Model 3-12-4 firmy EMI, Inc. [14]

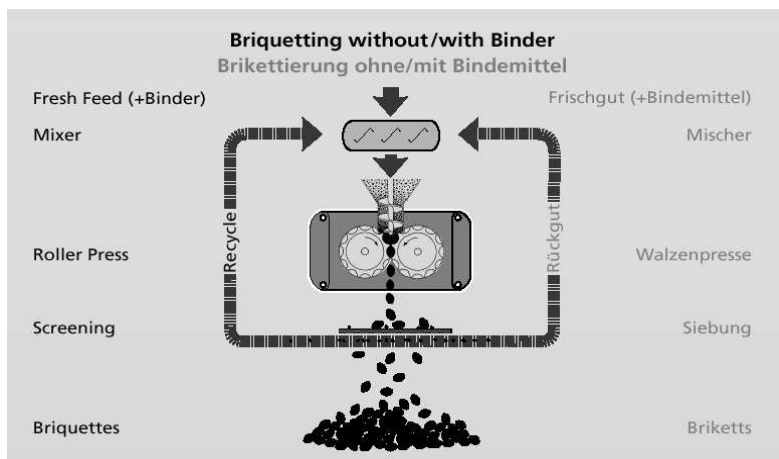
Ciekawe rozwiązanie dwustopniowej brykietarki stemplowej oferuje firma Mayfran International- rys.9. Urządzenie posiada dwa systemy brykietowania: wstępnego i ostatecznego. Wyposażone jest w sterownik (PLC) regulujący między innymi czas pracy podajnika śrubowego, a tym samym ilość materiału dozowanego do komory zagęszczania wstępnego.



Rys.9. Widok dwustopniowej brykietarki FastPackTM firmy Mayfran International [14, 15]: 1- zasobnik materiału, 2- podajnik śrubowy, 3- siłownik zagęszczania wstępnego, 4- komora zagęszczania wstępnego, 5- jedna z dwóch komór zagęszczania ostatecznego, 6- tłoczysko siłownika głównego napędu, 7- siłownik główny

W procesie brykietowania ziarnistych odpadów produkcyjnych stosuje się także prasy walcowe. Ich zalety to: ciągły charakter pracy, szeroki zakres wydajności, mniejsze zużycie energii oraz większa trwałość elementów formujących w stosunku do innych odmian pras [6].

Idea procesu sporządzania brykietów w prasie walcowej oraz widok maszyny firmy Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG przedstawiona jest na rysunku 10.



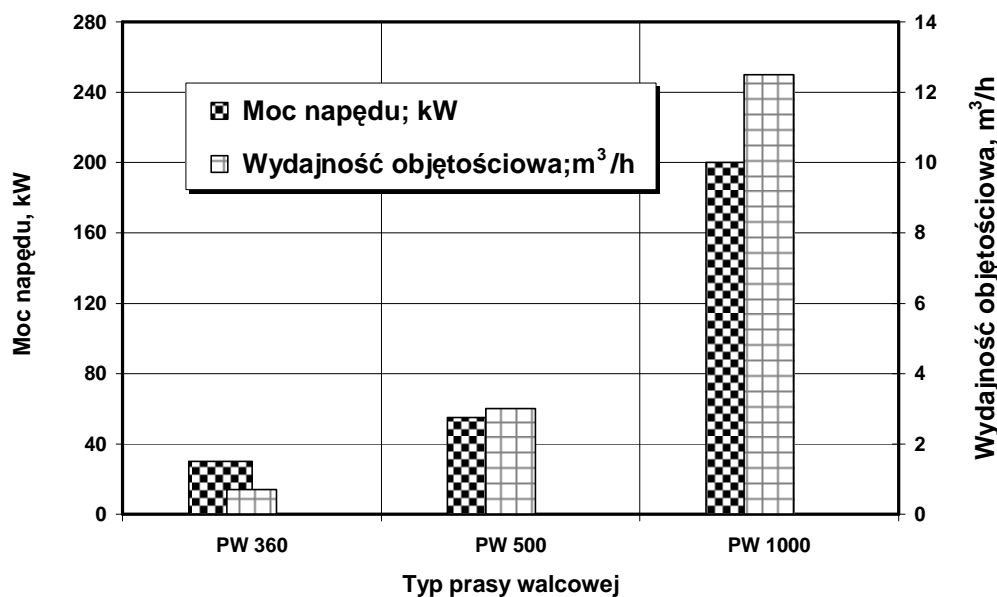
Brykietowanie
(bez dodatku lub z dodatkiem
spoiwa)
Nadawa (+ spoiwo)
Mieszarka
Prasa walcowa
Przesiewanie
Brykiety
(drobne frakcje zwracane są

Rys.10a. Schemat procesu brykietowania w prasie walcowej firmy Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG [14, 15]



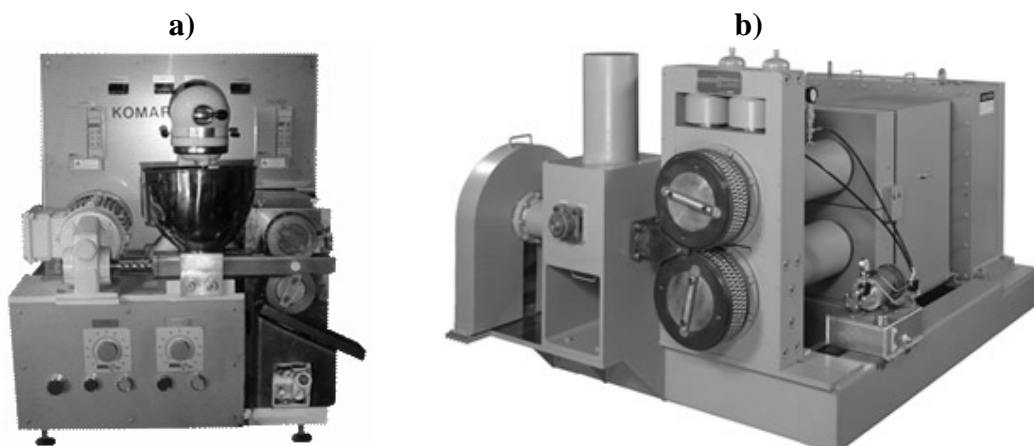
Rys.10 b. Widok prasy walcowej firmy Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG [14, 15]

Na rysunku 11 zestawiono podstawowe parametry pras walcowych opracowanych w Katedrze Urzędzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska, AGH w Krakowie [1,6,14].



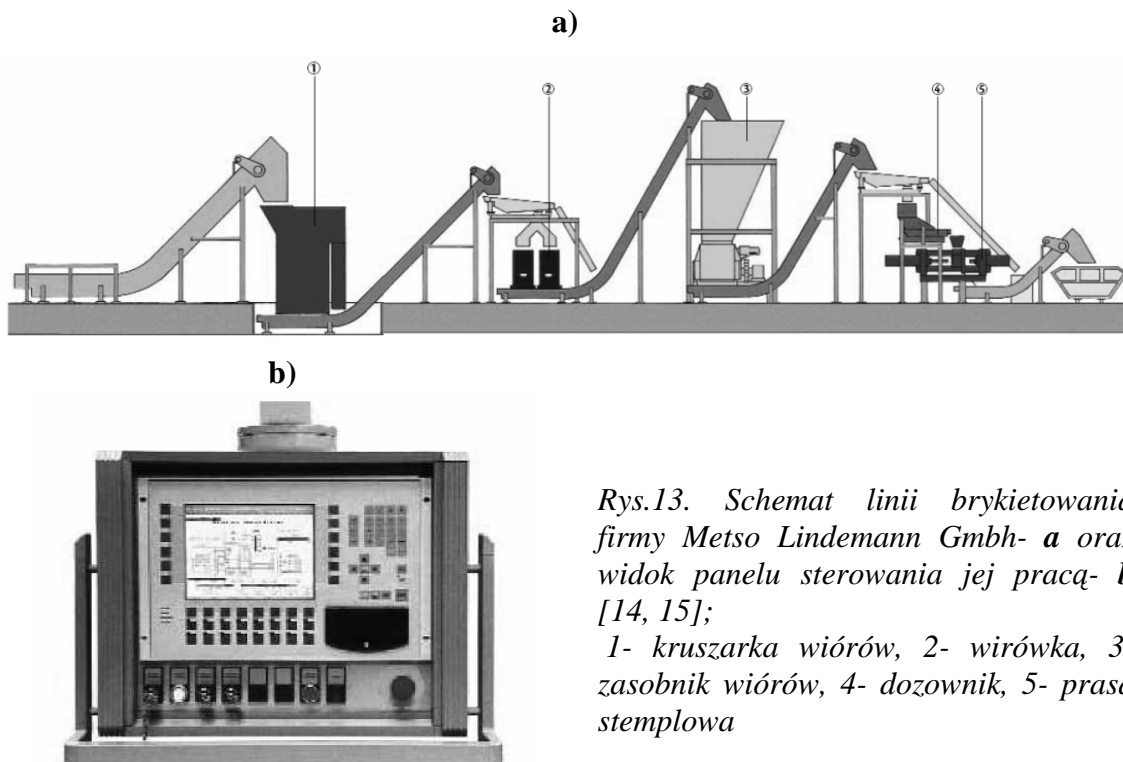
Rys.11. Zestawienie mocy napędu i wydajności pras walcowych typoszeregu PW- oferta Katedry Urzędzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie, dane z [6, 14]

Przykładowe rozwiązania pras walcowych amerykańskiej firmy K.R.Komarek Inc. [14] przedstawiono na rysunku 12. Mała prasa B50 jest reklamowana jako wyposażenie laboratoriów, jednak jej parametry nie wykluczają aplikacji przemysłowych, również w odlewnictwie.



Rys.12. Widok pras walcowych firmy K.R. Komarek Inc. [14]: a) B50 o wydajności 1-25 kg/h i mocy całkowitej 1,5 kW, b) B400 o wydajności 3-10 t/h i mocy napędu: walców- 75 kW, podajnika- 11 kW

Czołowi producenci maszyn brykietujących prezentują kompleksowe podejście do mechanizacji i automatyzacji procesu. Poza indywidualnymi stanowiskami oferowane są linie do brykietowania. Przykładowe rozwiązanie linii przedstawiono na rysunku 13. Linie posiadają zaawansowane systemy sterowania pracą urządzeń składowych i ich nadzoru.



Rys.13. Schemat linii brykietowania firmy Metso Lindemann GmbH- a oraz widok panelu sterowania jej pracą- b [14, 15];

1- kruszarka wiórów, 2- wirówka, 3- zasobnik wiórów, 4- dozownik, 5- prasa stemplowa

3. Podsumowanie

Utylizacja odpadów pyłowych w odlewniach jest dostępna w obecnie w wielu wariantach. Podstawowe metody to grudkowanie (granulowanie) i brykietowanie. Oferowane są sprawdzone w warunkach przemysłowych technologie. Zaletą zagęszczania odpadów pyłowych jest możliwość tworzenia mieszanek pyłów z innymi rozdrobnionymi odpadami, odzysk pierwiastków, ograniczenie emisji pyłów. Ponowne wprowadzenie brykietów lub grudek do pieców stosowanych w odlewniach, zwłaszcza żeliwiaków może przynieść szereg korzyści. Za wprowadzeniem tej metody recyklingu odpadów pyłowych przemawia również bardzo szeroka oferta urządzeń o wysokim poziomie technicznym. Oferowane są również urządzenia przewoźne oraz kompleksowe, zautomatyzowane linie technologiczne przeróbki odpadów. Decyzję o utylizacji odpadów pyłowych w odlewni powinna poprzedzać ich analiza ilościowa i jakościowa, wybór składu mieszanek i rozpoznanie procesu zagęszczania pyłów. Należy podkreślić możliwość przeprowadzenia w odlewni wstępnej analizy powyższych zagadnień we własnym zakresie.

4. Literatura

- [1] Drzymała Z.: *Podstawy inżynierii procesu zagęszczania i prasowania materiałów*. PWN, Warszawa 1988.
- [2] Enzenbach T.: *Jahresübersicht Kupolofen (40. Folge)*. Giesserei 90, 2003, nr 6, S.100-106.
- [3] Holzer M. i in.: *Przewodnik w zakresie najlepszych dostępnych technik (NDT). Wytyczne dla branży odlewniczej*. Ministerstwo Ochrony Środowiska, 2005.
- [4] Holtzer M.: *Możliwości wykorzystania w procesie żeliwiakowym odpadów odlewniczych zawierających żelazo*. Przegląd Odlewnictwa 2000, nr 6, s. 236-238.
- [5] Holtzer M.: *Gospodarka odpadami i produktami ubocznymi w odlewniach*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2001.
- [6] Hryniewicz M.: *Metoda doboru pras walcowych oraz opracowanie założeń do ich modernizacji lub konstrukcji*. Rozprawy-Monografie, Wyd. AGH, Kraków 1997.
- [7] Niechoff T.B. in.: *Cupola Operating System for Dust Injection and Improved Process Flexibility*. AFS Transactions v. 106, 1998, pp. 433 – 437.
- [8] Podrzucki Cz.: *Współczesne problemy procesu żeliwiakowego*. Przegląd Odlewnictwa 2000, nr 5, s. 183-188.
- [9] Rachner H.G., Lemperle M.: *Moderne Kupolofenanlagen*. CIATF Technical Forum 99, ref. Nr 1, S.1-10.
- [10] Smyksy K., Holtzer M.: *Możliwości wykorzystania procesu brykietowania do utylizacji pyłów żeliwiakowych*. Archiwum Odlewnictwa, nr 3, 2002, s. 121–128.
- [11] Stricker E. i in.: *Brikettierung von Kupolofenstäuben mit Putzereistaub als Bindemittel*. Giesserei 87, 2000, nr 7, S.27-33.
- [12] Sztefko F.: *Wentylacja, klimatyzacja i odpylanie w odlewni*. Wyd.AGH, Kraków 1990.
- [13] Tlilch W., Schrey A., Wolf H.: *Strategien und Schliessen der Stoffkreisläufe von Giessereien*. CIATF Technical Forum 99, ref. Nr 52, 1999, S.403-411.
- [14] Strony internetowe firm: <http://www.emi-inc.com>, <http://www.komarek.com>, <http://kutios.imir.agh.edu.pl>, <http://www.brikettieren.de>, <http://www.metsominerals.com/>, <http://www.kuettner.com>, <http://www.koeppern.de>, <http://www.mayfran.com>

-
- [15] Materiały prospektowe firm: *Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG, Mayfran International, EMI Inc., Metso Lindemann GmbH, K.R. Komarek Inc., OPAM Katowice, RUF GmbH & Co.KG*
- [16] Praca zbiorowa pod red. Anioły Z., Drzymały Z.: *Wybrane zagadnienia z projektowania urządzeń ochrony atmosfery. Cz.I,II. Skrypty AGH, nr25,26. Kraków1973.*
- [17] Lastivka A., Pribulová A., Hanušin P., Bartošová M.: *Zužitkovanie odpadom vznikajúcich pri čistení odliatok.* Technologické Inžinierstvo 2007, nr 1, s. 101-102.

ANALIZA SYSTEMÓW REGENERACJI W ASPEKCIE JAKOŚCI REGENERATU I OCHRONY ŚRODOWISKA

Józef DAŃKO¹,
Mariusz HOLTZER²,
Rafał DAŃKO³

Streszczenie

W pracy przedstawiono zalecenia dotyczące doboru efektywnych procesów regeneracji oraz gospodarki masami formierskimi w aspekcie Najlepszych Dostępnych Techniek (NDT-BAT). Omówiono optymalne sposoby realizacji regeneracji oraz ich elementarne procesy dostosowane do systemu mas jednolitych oraz mas mieszanych. Sformułowano warunki gospodarowania masami formierskimi pozwalające na stworzenie systemu mas quasi jednolitych, sprzyjających zastosowaniu uproszczonych sposobów regeneracji i oceny jakości regeneratu.

1. Rodzaje mas zużytych powstających w krajowych odlewniach i sposoby ich zagospodarowania

Tworzywem do realizacji różnorodnych sposobów i odmian regeneracji są odpady mas formierskich i rdzeniowych. Pod względem przydatności do regeneracji dzieli się je, zgodnie z propozycją dokumentu referencyjnego Unii Europejskiej (Integrated Pollution and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry. European Commission, May 2005) [1] na masy pochodzące z danej, pojedynczej technologii, stosowanej w odlewni (monosand) oraz na mieszaninę kilku rodzajów masy z różnych technologii (mixed sands). Wprowadzone zostało także rozróżnienie operacji, przygotowania masy zużytej do regeneracji, którą określa się jako regenerację wstępną (primary) od obróbki regeneracyjnej, dającej regenerat finalny, co zostało określone jako regeneracja właściwa (secondary) [1, 2].

Podstawowym rodzajem masy formierskiej jest syntetyczna masa z bentonitem i pyłem węglowym, która jest stosowana w ponad 90% polskich odlewni. W przypadku wytwarzania odlewów z żeliwa szarego oraz sferoidalnego stosuje się jednolite, klasyczne masy formierskie z bentonitem.

W odlewnictwie staliwa są stosowane masy przymodelowe oraz wypełniające z bentonitem, a także masy chromitowe na warstwę przymodelową, przy czym te ostatnie najczęściej występują w połączeniu z masą cementową, masą ze szkłem wodnym (utwardzanym utwardzaczem organicznym - technologia floster), lub jako mieszanina chromitu i określonego spoiwa organicznego (żywice syntetyczne np. alkidowa, furfurylowa, fenolowa o niskiej zawartości azotu i inne). Kilka dużych odlewni staliwa stosuje sypkie masy chemoutwardzalne (technologia floster) oraz samoutwardzalne masy z żywicami zawierającymi alkohol furfurylowy (tzw. masy furanowe).

¹ Prof. dr hab. inż. Józef Dańko. Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Maszyn i Urządzeń Odlewniczych; jd@agh.edu.pl

² Prof. dr hab. Mariusz Holtzer, Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Tworzyw Formierskich i Ochrony Środowiska; holtzer@agh.edu.pl

³ Dr inż. Rafał Dańko. Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Maszyn i Urządzeń Odlewniczych; rd@agh.edu.pl

W odlewnictwie metali nieżelaznych stosuje się w kraju masy z bentonitem oraz masy z lepiszczem naturalnym (piaski półtłuste), a także masy ze spoiwami żywicznymi.

Rdzenie są wykonywane praktycznie ze wszystkimi dostępnymi rodzajami żywic syntetycznych, nadającymi się do utwardzania w procesach hot-box, cold-box i Croninga (piaski otaczane). Klasyczna technologia cold-box Ashlanda jest stosowana jedynie w kilku większych rodzimych odlewniach. Stosunkowo duże rozpowszechnienie znajduje technologia mas z silnie zasadową żywicą fenolową utwardzaną CO_2 (technologia Novanol i jej krajowe odpowiedniki).

Po wybiciu odlewu z formy, jako produkt uboczny produkcji pojawia się zużyta masa formierska i rdzeniowa. Możliwe sposoby postępowania z tą masą przedstawiono schematycznie na **rysunku 1**.

Zużyte masy formierskie i rdzeniowe mogą być używane samodzielnie lub w powiązaniu z innymi składnikami w przemyśle budowlanym, jako materiał uszczelniający na składowiskach odpadów, jako materiał do produkcji kruszywa cementowego lub wypełniacza do asfaltu [4]. Masy te mogą być w odlewni wstępnie przygotowane do tych poza odlewniczych zastosowań, przez poddanie ich - omówionemu dalej - procesowi regeneracji wstępnej.



Rys. 1. Sposoby zagospodarowania zużytych mas odlewniczych – opracowano na podstawie [2, 8]

W tabeli 1 przedstawiono przykładowe możliwości wykorzystania zużytych mas formierskich poza odlewnictwem pochodzących z różnych technologii odlewniczych.

Tabela 1. Poza odlewnicze wykorzystanie różnych rodzajów mas zużytych [3, 4]

Wykorzystanie masy zużytej	Rodzaje zużytych mas formierskich					
	Bentonitowa	Alkaliczna fenolowa	Uretanowa fenolowa	Furanowa	Croninga	Ze szkłem wodnym
Materiały dla budownictwa						
Asfalt	x	x	+	+	+	O
Bloki betonowe	+	x	+	+	x	+
Cegła	x	x	+	+	+	
Cement	x	x	+		x	x
Beton		x	+	+	+	
Piasek sztuczny	x	x	+	+	+	+
Materiały izolacyjne	+	+	+	+	+	+
Podsypki drogowe		x	+		+	x
Przekładki wysypisk komunalnych	x	+	+	x	+	
Likwidacja wyrobisk	x	x	+	x	x	+
Wyrównywanie terenu	x	x	+			
Modyfikacja gleby	+	+	+	+	+	+

(x) – potwierdzone zastosowanie ponownego użycia; (+) - teoretycznie możliwe ponowne zastosowanie;

(O) – nie nadaje się do użycia w postaci nieobrobionej.

2. Odzysk osnowy z zużytych mas w procesie regeneracji

Odzysk w procesach regeneracji osnowy z zużytych mas formierskich i rdzeniowych, w celu jej ponownego użycia jako zamiennika świeżego piasku w nowo sporządzanych masach formierskich i rdzeniowych, jest zagadnieniem złożonym w uwagi na jego aspekty technologiczne i ekologiczne.

Masa zużyta, niezależnie od przyjętego sposobu odzysku z niej osnowy, podlega obróbce, realizowanej w odpowiednich systemach, najczęściej z zachowaniem następującej sekwencji czynności [2]:

- wstępnego oddzielenia ze zużytej masy zanieczyszczeń mechanicznych, głównie metalowych,
- rozdrobnienia zbrylonej masy po jej wybicciu z formy,
- przesianiu masy i wielkości ziaren materiału do regeneracji,
- powtórne oddzielenie z masy zanieczyszczeń metalowych,
- regeneracja właściwa, uwolnienie osnowy z resztek zużytego materiału wiążącego przez zastosowanie sposobów pozwalających na usunięcie otoczki materiału wiążącego z powierzchni ziaren ,
- usunięcie z osnowy niepożądanych produktów regeneracji przez jej odpylenie,
- wyodrębnienie osnowy o określonej wielkości i jednorodności ziarn (klasyfikacja według wielkości ziarn).

Głównie ze względów ekonomicznych, nie wszystkie odlewnie mogą pozwolić sobie na wprowadzenie procesu regeneracji zużytych mas. Ponieważ masy te zawierają ponad 92 – 98% piasku kwarcowego, to mogą one być wykorzystywane w innych dziedzinach gospodarki, dla których stanowią źródło cennych składników. W związku z tym masy te są stosowane do produkcji cementu, betonu, ceramiki budowlanej, jako materiał do budowy dróg, rekultywacji terenów, przy eksploatacji składowisk odpadów komunalnych (jako warstwa przekładniowa), czy stabilizacji wałów przeciwpowodziowych [5, 6]. Jednak ze względu na stosowanie do sporządzania świeżych mas formierskich i rdzeniowych spoiw na bazie związków organicznych istnieje potencjalne zagrożenie

wymywania się tych składników, lub innych powstałych w wyniku działania wysokiej temperatury ciekłego metalu, do środowiska. Dlatego też przed podjęciem decyzji o zastosowaniu zużytych mas w powyższych dziedzinach, poza spełnieniem przez nie warunków technologicznych, konieczne jest dokonanie oceny ich wpływu na środowisko. Jednym z podstawowych badań w tym zakresie jest test wymywalności. W tabeli 2 podano wyniki testu wymywalności dla odpadów odlewniczych, w tym dla wybranych mas formierskich i rdzeniowych. Dla porównania zamieszczono wymagania jakie powinny spełniać odpady dla dopuszczenia ich do składowania na odpowiednich składowiskach [7].

Tabela 2. Wyniki badania wymywalności odpadów odlewniczych

Odpad	Stężenie, mg/kg s.m.													
	Indeks fenolowy	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn	TOC	WWA	Fluorki	
Dopuszczalne graniczne wartości wymywania dla Składowisk odpadów obojętne	1	0,5	0,04	0,5	2	0,01	0,5	0,4	0,5	4	30000	1	10.	
Dopuszczalne graniczne wartości wymywania dla Składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne		2	1	10	50	0,2	1	10	10	50	5%			
Nieprzepalone rdzenie z piasku otaczanego	9,1	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	811,2		n.o.	
Nieprzepalone rdzenie z technologii cold – box	97	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	1964		n.o.	
Zużyta masa z bentonitem i pyłem węglowym	0,26	n.o.	<0,01	0,08	3,40	n.o.	n.o.	n.o.	<0,05	3,65	615	<1,68	n.o.	
Zużyta masa SMS	9,6	n.o.	<0,01	<0,02	0,12	n.o.	n.o.	n.o.	<0,05	0,08	n.o.	n.o.	n.o.	
Zużyta masa z bentonitem i dodatkiem mas rdzeniowych	0,81	n.o.	<0,01	<0,02	0,19	n.o.	n.o.	n.o.	<0,05	0,21	144	<1,03	n.o.	
Zużyta wymurówka z pieców i kadzi	n.o.	n.o.	<0,01	<0,02	0,06	n.o.	n.o.	n.o.	0,27	<0,07	n.o.	n.o.	n.o.	
Pył z odpylania stacji przerobu mas z bentonitem	0,40	n.o.	<0,01	0,17	4,42	n.o.	n.o.	n.o.	<0,05	6,85	850	n.o.	n.o.	

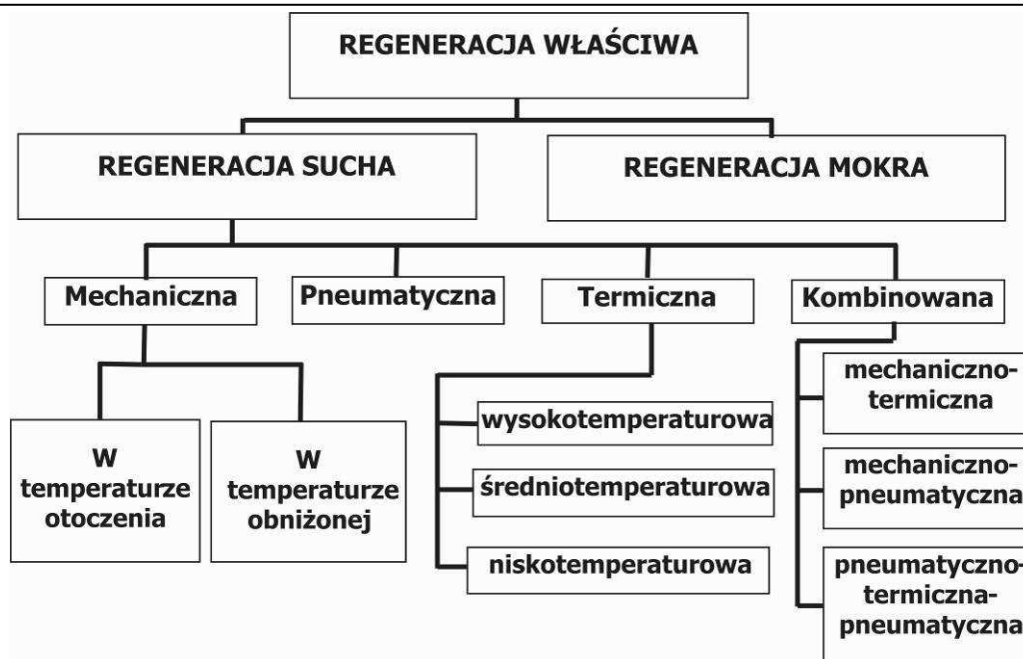
TOC – ogólny węgiel organiczny; WWA – wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne; no-nie określono.3.

3. Uogólnione systemy i procesy regeneracji

Obróbka zużytej masy polegająca na połączeniu pierwszych czterech, wymienionych w pkt. 2 czynności jest określana jako proces regeneracji *wstępnej lub pierwotnej* (ang. primary) [1, 2]. Jej pełna realizacja jest warunkiem koniecznym do poddania otrzymanej osnowy kolejnym, finalnym zabiegom oczyszczania z otoczek materiału wiążącego. Na tym etapie bowiem ziarna regeneratu nie są dostatecznie oczyszczone z otoczki materiału wiążącego, a raczej proces ten polega na rozdzieleniu dużych zlepków ziarna osnowy, co skutkuje ograniczeniem ilości regeneratu, który może być dodany do świeżego piasku w masie do produkcji form a szczególnie rdzeni. Bardziej korzystna sytuacja dla przebiegu pozostałych, wymienionych czynności pojawia się wówczas, gdy wielkość zlepków piasku jest zbliżona do wielkości wymaganej na wejściu do określonego systemu regeneracji właściwej.

Regeneracja właściwa, która w literaturze angielskojęzycznej jest określana terminem „secondary reclamation” (regeneracja wtórna) stanowi wraz z regeneracją wstępną komplementarny system obróbki regeneracyjnej mający na celu oczyszczenie ziarna osnowy z pozostałości otoczek zużytego materiału wiążącego i nieprzydatnych technologicznie frakcji osnowy. Zadanie bardziej skutecznego uwolnienia ziarna osnowy z otoczek materiału wiążącego wymaga w tym przypadku znacznie bardziej agresywnych technik, niż miało to miejsce podczas regeneracji wstępnej. Na rysunku 2 przedstawiono schematyczne ujęcie stosowanych metod regeneracji właściwej.

W zależności od zastosowanego sposobu regeneracji jakość odzyskanej osnowy może być zbliżona, a niekiedy lepsza od piasku świeżego, co stwarza odlewniom możliwość wykorzystania wymienionych wcześniej, wszystkich walorów regeneracji.



Rys. 2. Schematyczne ujęcie stosowanych metod regeneracji właściwej [2, 8]

4. Zalecenia doboru urządzeń regeneracyjnych dostosowane do określonych systemów masy zużytej

Analiza aktualnego stanu wiedzy i zgromadzone doświadczenia przemysłowe pozwalają podać zalecenia odnośnie do doboru urządzeń regeneracyjnych, najkorzystniej spełniających swoje zadania, oraz wyboru metod służących do oceny jakości regeneratu pod kątem jego przydatności do określonych zastosowań.

W tabeli 3 zestawiono przykładowe systemy mas jednolitych i dostosowane do nich możliwe najbardziej efektywne metody regeneracji właściwej.

W odlewniach wykonujących odlewy ze stopów żelaza najczęściej pojawia się konieczność regeneracji mieszaniny mas zużytych pochodzących z różnych technologii, co z punktu widzenia jakości regeneratu jest sytuacją niekorzystną. Mieszanie się mas zużytych o różnym charakterze chemicznym i sposobie wiązania, często wzajemnie niekompatybilnych, wymaga zastosowania znacznie bardziej złożonej obróbki regeneracyjnej dla uzyskania założonej czystości regeneratu. Praktyka wskazuje, że w wielu przypadkach mimo większego nakładu kosztów, odzyskana osnowa może być w ograniczonym tylko zakresie używana jako zamiennik świeżego piasku [1, 2].

W tabeli 4 zestawiono przykładowe systemy mas mieszanych i dostosowane do nich możliwe najbardziej efektywne metody regeneracji właściwej.

Warto jednak mieć na uwadze, że charakterystyczna dla określonego rodzaju masy zużytej ocena regenerowalności, która w przypadku mas jednolitych jest względnie prosta, w przypadku mieszaniny różnych rodzajów masy staje się znacznie bardziej złożona [1, 2]. Ocena ta wymaga w pierwszej kolejności uwzględnienia tych wielkości i parametrów, które dla masy zużytej, będącej składnikiem mieszaniny mają istotne znaczenie jak na przykład: zawartość lepiszcza i jego aktywność dla masy z bentonitem; zawartość Na_2O i Z_K (zapotrzebowanie na kwas) dla masy ze spoiwami krzemianowymi oraz wartość strat prażenia i odczyn pH dla mas z żywicami. Niezależnie od tego, w danym systemie mas mieszanych należy poddać ocenie temperaturę spiekania osnowy, jej skład granulometryczny regeneratu, morfologię powierzchni ziaren oraz właściwości wytrzymałościowe masy z regeneratem. Jak widać znacznemu rozszerzeniu ulega zakres badań sprawdzających jakość regeneratu w porównaniu z systemem mas jednolitych,

a nawet quasi jednolitych, przy czym otrzymany regenerat nie może być bezwarunkowo stosowany jako pełny zamiennik świeżego piasku w technologii mas rdzeniowych.

Tabela 3. Sposoby regeneracji zalecane dla różnych systemów mas jednolitych [1, 2]

Rodzaj masy jednolitej	Sposób regeneracji	Dominujące czynniki regeneracji	Zagospodarowanie regeneratu	Warunki początkowe	Minimalna Wydajność (t/h)
<i>Masy z nieorganicznymi materiałami wiążącymi</i>					
Masa klasyczna z bentonitem	Mechaniczny	ścieranie odśrodkowe	Zamiennik piasku do odświeżania masy w obiegu	Wymagane wstępne suszenie masy	0,75
	Pneumatyczny	ścieranie wirnikowe ścieranie pneumatyczne		Wtórne wykorzystanie pyłów	
Masa ze szkłem Wodnym/CO ₂	Mechaniczny Pneumatyczny (wykluczony proc. cieplny)	ścieranie odśrodkowe ścieranie wirnikowe ścieranie pneumatyczne	Składnik mas formierskich, tylko do mas ze szkłem wodnym	Wymagane wstępne suszenie masy do min. 150°C	0,5
<i>Masy ze spoiwami organicznymi</i>					
Masy samoutwardzalne (utwardzane w temperaturze otoczenia)	Mechaniczny (Pneumatyczny)	Oddziaływanie: Tarciowe, udarowe, Ścieranie pneumatyczne	Na formy (jako dodatek do piasku świeżego) samoutwardzalnych	Mechaniczny: jedynie wówczas, gdy otoczka spoiwa stała się krucha w skutek działania temperatury	1,5
	Termiczny	złożo strumieniowe, złożo fluidalne, piec obrotowy	Dodatek regeneratu do mas rdzeniowych	Należy określić wymagany stopień oczyszczenia regeneratu	
Masy do procesu cold-box, hot-box i Croninga	Mechaniczny (Pneumatyczny) Termiczny	ścieranie pneumatyczne, ścieranie odśrodkowe, ścieranie fluidyzacyjne termiczny: złożo strumieniowe, złożo fluidalne, piec obrotowy	W produkcji rdzeni zamiennik piasku świeżego	Mechaniczny: jedynie wówczas gdy otoczka mat. wiąż. stała się krucha w skutek oddziaływania temperatury Należy osiągnąć zbliżoną do piasku świeżego jakość regeneratu	0,75

Tabela 4. Sposoby regeneracji zalecane dla różnych systemów mas mieszanych [1, 2]

Rodzaj masy	Sposób regeneracji	Dominujące czynniki regeneracji	Zagospodarowanie regeneratu	Warunki początkowe	Minimalna wydajność (t/h)
Mieszana masa ze spoiwami organicznymi	Mechaniczny	ścieranie pneumatyczne, ścieranie odśrodkowe oddziaływanie udarowe,	zamiennik piasku do produkcji rdzeni (udział regeneratu w masie: 50-100%)	Sama regeneracja mechaniczna jedynie wówczas gdy otoczka materiału wiążącego stała się krucha w skutek częściowego przepalenia,	0,75
	Termiczny	złożo burzliwe (strumieniowe), złożo fluidalne, złożo mieszane impulsowo, piec obrotowy		Okresowa kontrola zawartości w masie P, O ₂ , PbO i zawartości innych pierwiastków szkodliwych.	
	Kombinowany	ścieranie wirnikowe w złożu nagrzewanym lub fluidalnym, złożo nagrzewane mieszane impulsowo		Celowe ustalenie wymaganego stopnia czystości regeneratu.. Należy osiągnąć zbliżoną jakość do piasku świeżego. Wtórne wykorzystanie pyłów z regeneracji termicznej	
Mieszana masa zawierająca bentonit i rdzenie z mas ze spoiwami organicznymi	Mechaniczny	ścieranie pneumatyczne, ścieranie odśrodkowe udarowe i bezudarowe, ścieranie wirnikowe,	zamiennik piasku do odświeżania masy w obiegu	Wymagane suszenie wstępne masy do 150-200 C, wstępne oraz końcowe odpylenie.	0,75
	Kombinowany	ścieranie wirnikowe w złożu nagrzewanym lub fluidalnym, złożo nagrzewane mieszane impulsowo	zamiennik piasku do produkcji rdzeni (udział regeneratu w masie do 50%)	Konieczne usunięcie aktywnego bentonitu. Okresowa kontrola stopnia oolityzacji. Wtórne wykorzystanie pyłów	

5. Zagospodarowanie pyłów z procesu regeneracji zużytych mas

W procesie mechanicznej regeneracji zużytych mas powstaje nawet do 10% pyłów poregeneracyjnych. W pyle tym są skumulowane znaczne ilości resztek spoiwa, najczęściej organicznego, usuniętego z ziaren piasku, w związku z czym pył ten jest traktowany jako odpad niebezpieczny. Występuje zagrożenie wymywania do gleby substancji niebezpiecznych np. podczas składowania. O możliwości zagospodarowania

pyłu poregeneracyjnego decydują jego właściwości takie, jak: skład chemiczny, skład ziarnowy, skład fazowy oraz wpływ na środowisko. Pyły te często posiadają wysokie wartości strat prażenia (ponad 30%), co świadczy o znacznej zawartości części palnych. W tabeli 5 podano skład chemiczny pyłu poregeneracyjnego pochodzącego z regeneracji mas z żywicą furfurylową. Analiza obejmowała pył w stanie wyjściowym oraz po wyprażeniu w temperaturze 1200°C. Głównym składnikiem jest krzemionka, przy czym w stanie wyjściowym stanowi ona ponad 50%, a po wyprażeniu prawie 78% [9].

Tabela 5. Skład chemiczny pyłu poregeneracyjnego, z regeneracji masy z żywicą furfurylową

Składnik	Zawartość, % mas.	
	Próbka w stanie wyjściowym	Próbka po wyprażeniu w 1200°C
Strata porażenia w 1200°C	31,5	
SiO ₂	52,92	77,80
Fe ₂ O ₃	4,32	6,34
Al ₂ O ₃	4,61	6,77
MgO	0,10	0,14
CaO	3,56	5,22
SO ₃	0,87	1,27
K ₂ O	0,61	0,89
Na ₂ O	0,23	0,33
Cl	0,011	0,015
ZrO ₂	0,79	1,15

5.1. Wykorzystanie odpadów poregeneracyjnych jako paliwa

Jedną z metod zagospodarowania pyłów poregeneracyjnych z mas z spoiwami organicznymi jest wykorzystanie zawartej w nich energii. Pył poregeneracyjny posiada wartość opałową rzędu 10.000 kJ/kg, czyli nieco powyżej 1/3 wartości opałowej węgla. Przeprowadzone testy współspalania węgla (80%) z pyłem (20%) wykazały, że w tych warunkach uzyskuje się odpowiednią ilość energii, a emitowane gazy nie powodują wzrostu zagrożenia środowiska w stosunku do gazów emitowanych przy spalaniu tylko samego węgla. Natomiast stwierdzono kilkakrotnie mniejszą emisję WWA, w tym rakotwórczego benzo(a)piranu przy spalaniu mieszanki pyłowo-węglowej. Proponowana metoda zagospodarowania pyłów poregeneracyjnych jest korzystna szczególnie dla odlewni, na terenie których znajduje się kotłownia węglowa. W tabeli 6 podano wyniki pomiarów spalania w kotle węgla i mieszanki węgiel + pył poregeneracyjny w stosunku 80 : 20.

Tabela 6. Wyniki pomiarów spalania kotła węgla i mieszanki węgla + pył poregeneracyjny

1. Wyszczególnienie		Symbol	Jednostka	Wartość	
				Węgiel	Węgiel+pył
Paliwo	1.1. Masa paliwa	B	kg	12,0	12,0
	1.2. Wartość opałowa	Q_i^a	kJ/kg	27267,0	23725,0
Spaliny	Temperatura	t_{sp}	°C	223,0	225,0
	Ciąg kominowy	p_k	Pa	18,8	19,6
	CO ₂	z_{CO_2}	%	8,42	8,57
	O ₂	z_{O_2}	%	11,80	11,59
	CO	C_{CO}	mg/Nm ³	969,2	386,7
	SO ₂	C_{SO_2}	mg/Nm ³	367,7	627,8
	NO	C_{NO}	mg/Nm ³	120,4	135,1
	1.3. Pył	$C_{pył}$	mg/Nm ³	248,0	564,0
	Zanieczyszczenia organiczne	C_{org}	mg/Nm ³	47,1	22,5
	WWA	C_{WWA}	μg/Nm ³	371,0	49,2
	B(a)P	$C_{B(a)P}$	μg/Nm ³	6,4	1,1
Odpady paleniskowe	Całkowita masa	B_r	kg	1,0	3,0
	Zawartość części palnych	g_{pal}	%	54,5	48,1

5.2 Wykorzystanie pyłów poregeneracyjnych w przemyśle budowlanym

Dotychczasowe prace skoncentrowano na ocenie przydatności pyłów poregeneracyjnych w przemyśle cementowym, jako surowiec zawierający krzemionkę i/lub jako paliwo alternatywne. Takie założenie przyjęto biorąc pod uwagę dużą zawartość SiO₂ oraz części palnych. Dodatki tego typu w ilości 2 – 5%., m.in. w postaci piasków naturalnych lub zapiaszczonych glin, stosowane są do korekcji modułu krzemowego przy produkcji cementowego klinkieru portlandzkiego. Pył poregeneracyjny może być również dodawany do cementu, nie pogarszając jego właściwości użytkowych. Przy zastosowaniu pyłu w ilości 4 – 5%, jako paliwa alternatywnego w procesie wypalania klinkieru portlandzkiego, możliwa jest oszczędność paliwa w ilości 1,5 – 2%. Ten sposób zagospodarowania gwarantuje wykorzystanie dużej ilości pyłów poregeneracyjnych. Dlatego też należy rozważyć możliwość współpracy kilku odlewni posiadających systemy regeneracji i stosujących takie same lub podobne rodzaje mas w zagospodarowaniu pyłów.

6. Podsumowanie

Z punktu widzenia regeneracji optymalnym rozwiązaniem jest wprowadzenie w odlewni nowej gospodarki masami, pozwalającej na zastąpienie systemu zużytych mas mieszanych przez system mas *quasi jednorodnych*, uzyskany przez rozdzielanie strumieni poszczególnych mas oraz ich odpowiednie pogrupowanie w aspekcie uzyskania zgodności trzech elementów procesu technologicznego: *masy zużytej - zregenerowanej osnowy (regeneratu) – masy świeżej*. Ta zgodność powinna dotyczyć przede wszystkim tych właściwości każdej z mas, które najsilniej wpływają na jakość regeneratu, na przykład odczyn chemiczny masy i rdzeni (pH, Z_K), charakterystyka osnowy masy (frakcja główna, kształt ziarn) itp. [7].

System, selekcyjujący masy zużyte według gatunków, a w ramach danego gatunku masy według stopnia ich przepalenia (selektywne wybijanie) pozwoliłby na znaczne uproszczenie systemów regeneracji oraz na zwiększenie uzysku regeneracji [9, 10].

W warunkach wielu istniejących odlewni zastosowanie systemu mas quasjednolitych, obejmujących selekcje wszystkich zużytych mas formierskich według gatunków, a następnie oddzielną regenerację tych mas, byłoby jednak zbyt pracochłonne i kosztowne z uwagi na brak odpowiednich urządzeń i doświadczenia. Dlatego wspólna regeneracja mas zużytych z różnych technologii, realizowana w ramach systemu mas mieszanych stanowić będzie przez dłuższy czas odrębną kategorię zagadnień.

Publikacja naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2009 jako projekt badawczo-rozwojowy Nr R07 012 02

Literatura

- [1]. Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry. European Commission, May 2005.
- [2]. Dańko J., Dańko R, Łucarz M.: Procesy i urządzenia do regeneracji osnowy zużytych mas odlewniczych. Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2007.
- [3]. Hiltunen i in.: Benefical reuse of foundry residual waste in Pennsylvania. Physical characterization of material. Environmental Resources Research Institute. Pennsylvania State University. 1992, p. 48.
- [4]. Holtzer M.: Gospodarka odpadami i produktami ubocznymi w odlewniach. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne. Kraków 2001.
- [5]. Holtzer M., Postępowanie z odpadami odlewniczymi zgodnie z wymogami najlepszych dostępnych technik. Mat. Konferencyjne „Teoretyczne i praktyczne problemy zagospodarowania odpadów hutniczych i przemysłowych, Krynica 2005, 7 – 15.
- [6]. Materiały Konferencyjne International Conference „Foundry Waste Possibilities in the Future”, San Sebastian 2001.
- [7]. Rozporządzenie Ministra Gospodarki I Pracy z dnia 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu. Dz. U. Nr 186, poz. 1553 (2005)
- [8]. Dańko R.: Podstawy teoretyczne i technologiczne doboru optymalnych sposobów regeneracji suchej zużytych mas formierskich. Rozprawa doktorska, Wydział Odlewnictwa, Kraków 2006.
- [9]. Holtzer M., Aślanowicz M., Jurczyk A., Möglichkeiten de Verwertung von Stäuben aus der Regenerierung von Furanhartz-Formstoffen. Giesserei – Praxis 2006, 1-2, 31-37.

BADANIE SKUTECZNOŚCI OCZYSZCZANIA ŚCIERNEGO ODLEWÓW WYTWARZANYCH TECHNOLOGIĄ WYTAPIANYCH MODELI

Roman WRONA¹
Eugeniusz ZIÓLKOWSKI²
Marcin ŚLAZYK³
Piotr ZYZAK⁴
Zbigniew PĄCZEK⁵

1. Wprowadzenie

Istotą procesu wytapianych modeli jest łączenie pojedynczych odlewów w zestawy – choinki wokół głównego wlewu zasilającego. Zestawy te tworzą zwartą przestrzennie bryłę o określonej wysokości i rozpiętości, co czyni ją trudną do oczyszczenia zmechanizowanego. Choinka w przekroju poziomym przypomina kształt kwadratu lub wielościanu foremego. Trudność oczyszczania przejawia się głównie brakiem dostępu do powierzchni odlewów, które w ułożeniu choinkowym pozostają w cieniu, oraz dodatkowo są zasłaniane wlewnem głównym i sąsiednimi odlewami. Dodatkowym utrudnieniem w oczyszczaniu są otwory w odlewach o zmiennej średnicy i głębokości. Często są to otwory nieprzelotowe, o ściankach stopniowanych wewnątrz. Z wymienionych powodów oczyszczanie ścierne pomimo swych zalet nie zawsze w pełni daje możliwość całkowitego usunięcia masy formierskiej. Na podstawie analizy konstrukcji mechanizmów składowych oczyszczarki i wyników badań parametrów eksploatacyjnych można z dużym prawdopodobieństwem określić warunki efektywnego i skutecznego oczyszczania odlewów. Niezależnie od wymienionych warunków, na skuteczność oczyszczania decydujący wpływ ma gatunek śrutu użytego jako czyszciva i mechanizm rozdziału śrutu od masy formierskiej z oczyszczania odlewów.

2. Analiza kinematyki mechanizmu zawieszkowego

Efektywność oczyszczania odlewów zależy od konstrukcji turbin rzutowych i ich usytuowania w komorze oraz od konstrukcji mechanizmu zawieszkowego i jego charakterystyki ruchowej. Wyrzucane z turbin strumienie śrutu tworzą przestrzeń, w zasięgu, której powinny znajdować się odlewy. W trakcie oczyszczania odlewy zawieszane na zawieszku zmieniają swoje położenie względem strumienia śrutu zależnie od kinematyki mechanizmu zawieszkowego. W procesie tym dąży się do zsynchronizowania działania strumienia śrutu na odlewy z ruchem przejezdno-obrotowym zawiesia. W konsekwencji na skuteczność oczyszczania ma wpływ geometria kształtu strumienia śrutu w płaszczyźnie poziomej i pionowej oraz czas przebywania odlewu w przestrzeni strumienia śrutu. Czas przebywania jest funkcją trajektorii ruchu zawiesia i konstrukcji wieszaków, na których zwieszane są odlewy. Korzystając z metod rejestracji procesów szybkozmiennych i stosując programy komputerowe Corel PhotoPaint oraz Corel Draw można wyznaczyć strefy działania strumienia śrutu. W badanym

¹prof. dr hab. inż., AGH – Kraków, rwrone@agh.edu.pl

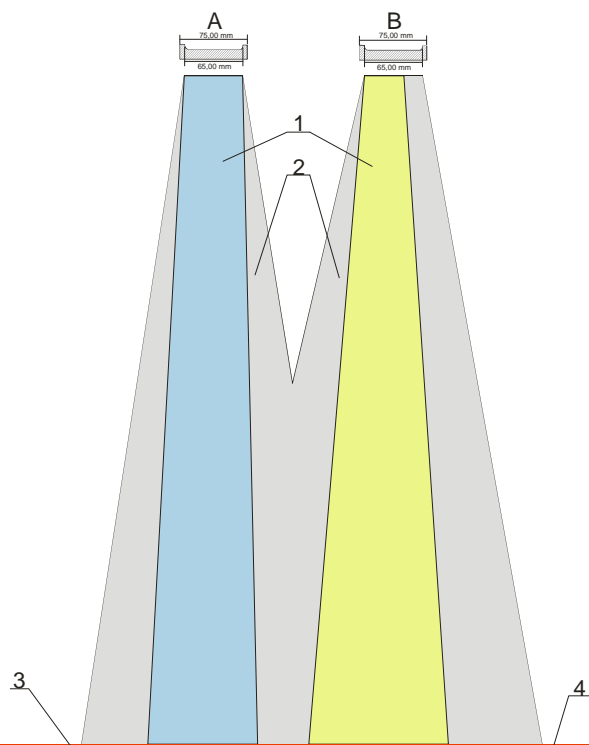
²dr inż., AGH – Kraków, ez@agh.edu.pl

³mgr inż., AGH – Kraków, mslazyk@agh.edu.pl

⁴mgr inż., AGH – Kraków, pzyzak@agh.edu.pl

⁵dr inż., Specodlew - Kraków

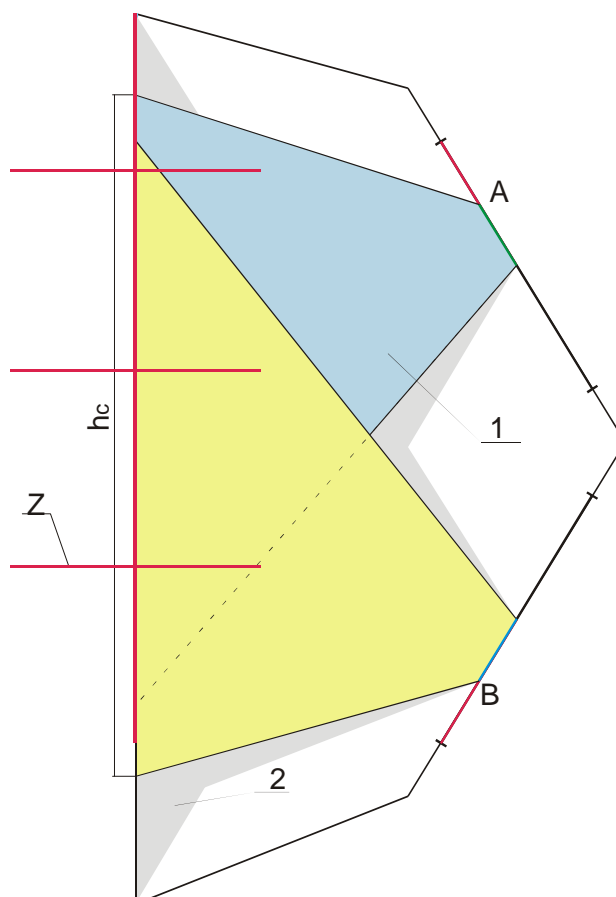
przypadku, szerokość strefy działania śrutu z wirników górnego i dolnego (rys. 1) składa się z dwóch rozdzielnych strumieni skoncentrowanych i rozproszonych nałożonych na siebie od wewnątrz, natomiast ułożonych rozdzielnie na zewnętrznych strefach.



Rys. 1. Szerokość strefy działania śrutu z wirnika górnego A i dolnego B: 1 - strefa strumienia skoncentrowanego, 2 - strefa strumienia rozproszonego, 3 - ekran badawczo-pomiarowy, 4 - tor jazdy zawiesia

Całkowita szerokość strefy działania strumieni (oczyszczania) jest bardzo ważna, gdyż od niej zależy określenie długości toru przesuwu zawiesia względem turbin rzutowych oraz długość ramion do zawieszania odlewów. Wyznaczona tą samą metodą wysokość strefy działania strumieni w płaszczyźnie pionowej przedstawiona jest na rys.2.

Wyrzucane strumienie śrutu obejmują swym zasięgiem całkowitą wysokość komory tworząc wyraźną granicę pomiędzy zarysami strumieni skoncentrowanych i rozproszonych. Pomijając powstałe w skutek odbicia cząstkowe strumienie można przyjąć, że kształt całkowity strumieni tworzy figurę geometryczną w objętości, której powinny znajdować się oczyszczane odlewy zawieszane na górnych, środkowych i dolnych ramionach zawiesia. Wyznaczone strefy działania strumieni powinny być w ścisłej zależności z działaniem mechanizmu zawieszkowego. Mechanizm zawieszkowy, co wynika z jego konstrukcji, realizuje ruch posuwisto-zwrotny po torze jazdy oraz ruch obrotowy zawiesia względem własnej osi. Posługując się programem do tworzenia grafiki komputerowej, można wykreślić punkty położenia odlewów w kolejnych fazach ruchu.

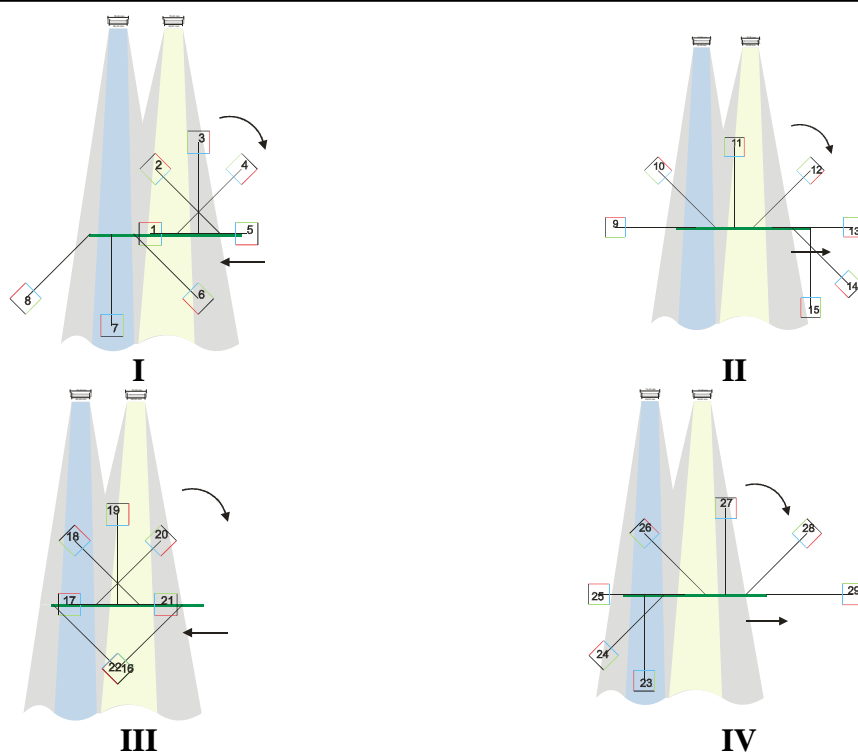


Rys. 2. Wysokość całkowitej strefy działania śrutu z wirnika A i B. h_c - wysokość strefy intensywnego czyszczenia, 1- strefa strumienia skoncentrowanego, 2- strefa strumienia rozproszonego, Z- zawiesz.

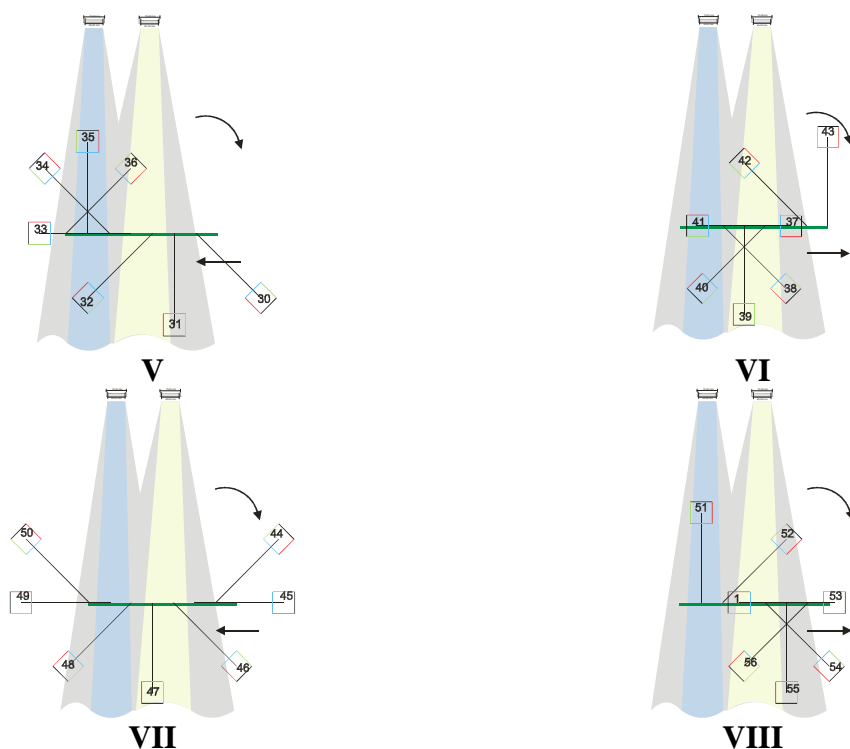
Przykładowo dla odlewu testowego (kostka sześcienna) wyznaczono trajektorię ruchu korzystając z operacji kopiowania, przemieszczania i obrotów utworzonych obiektów graficznych. Zmiany położenia odlewu na tle stref działania strumieni przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

Pełny cykl zmiany położenia obejmuje osiem etapów. Każdy etap to droga zawieszia w jednym kierunku, który zmienia się cyklicznie i jest uwarunkowany długością drogi przesuwania się zawieszia. Podczas ruchu odlew testowy przyjmuje określone położenie. Oznacza to, że ściany odlewu ustawione są prostopadle, równoległe i ukośnie względem strumieni śrutu. W rzeczywistości strumień śrutu uderza w ścianę odlewu prostopadle i odbija się lub uderza pod innym kątem wywołując składowe siły ścinające, styczne do powierzchni ściany odlewu. W trakcie ruchu odlewu występują pozycje odlewu, które są poza strefą działania strumieni śrutu oraz w strefie „cienia” utworzonej z innych odlewów.

Analizując efektywność procesu oczyszczania szczególną uwagę należy zwrócić na położenie ścian odlewu bezpośrednio poddanych działaniu śrutu i zasłoniętych, do których docierają tylko strumienie odbite.



Rys. 3: Zmiana położenia odlewu testowego jako efekt ruchu posuwistego i obrotowego zawiesia względem stref strumieni śrutu (etap I-IV).

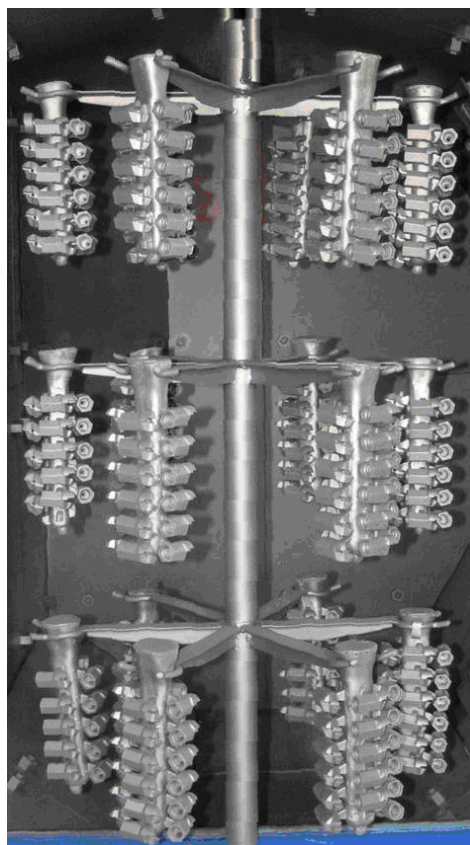


Rys.4: Zmiana położenia odlewu testowego jako efekt ruchu posuwistego i obrotowego zawiesia względem stref strumieni śrutu (etap V-VIII).

Należy rozgraniczyć oczyszczanie odlewów znajdujących się w przestrzeni pomiędzy turbinami rzutowymi, a torem jazdy zawiesia oraz w przestrzeni pomiędzy torem jazdy a ścianą boczną w przestrzeni najdalej oddalonej od wirników.

3. Badanie skuteczności oczyszczania na odlewach rzeczywistych

Do badań wytypowano odlewy, które pod względem kształtu i ułożenia powierzchni są odlewami trudnymi do oczyszczania i mogą być uznane jako reprezentatywne w stosunku do całego asortymentu odlewów wytwarzanych metodą wytapianych modeli. Stopień trudności zwiększają otwory w odlewach o zmiennej średnicy i głębokości; często są to otwory nieprzelotowe. Kształt odlewów i ich ułożenie w choinkę oraz sposób zawieszania na zawieszku podano na rysunku 5.



Rys. 5. Odlewy wytypowane do badań.

3.1 Program badań

Badania przeprowadzono dwuetapowo. W etapie pierwszym procesowi oczyszczania ściernego poddano odlewy oczyszczone i pokryte białym lakierem. Ponieważ lakier stanowi warstwę zwartą, przylegającą do powierzchni odlewu, jego usunięcie zależy głównie od sił stycznych (ścierających) do powierzchni odlewu, a w mniejszym stopniu od sił prostopadłych odbijających lakier od ścianek odlewu.

Celem tego eksperymentu było sprawdzenie słuszności rozważań na temat kinematyki ruchu zawiesia i położenia odlewów w strefach działania strumieni śrutu. Parametry eksploatacyjne mechanizmów oraz procesu oczyszczania były identyczne z warunkami testowymi przy określaniu geometrii strumieni śrutu oraz trajektorii ruchu mechanizmu zawieszkowego.

3.2. Wyniki badań

Osiągnięte wyniki z badań w pełni potwierdziły słuszność analizy teoretycznej. Efekt oczyszczania z lakieru był następujący:

- powierzchnie zewnętrzne bezpośrednio wystawione na działanie strumieni śrutu zostały oczyszczone z lakieru. Nieliczne ślady lakieru pozostały

w mikroporach, co może świadczyć o przewadze ścierania nad odbijaniem lakieru,

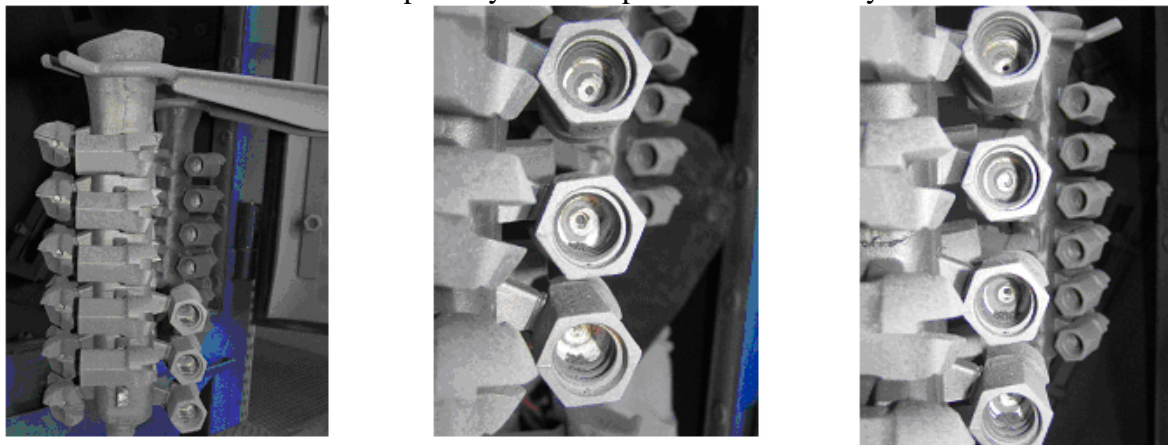
- powierzchnie boczne położone zgodnie z kierunkiem obrotu zawiesia, były częściowo niedoczyszczone. Występowały ślady lakieru w miejscach załamania płaszczyzn,
- powierzchnie boczne położone przeciwnie do kierunku obrotu, były w mniejszym stopniu oczyszczone w stosunku do powierzchni położonych zgodnie z kierunkiem obrotu,
- powierzchnie osłonięte (tzw. tylne) były oczyszczone najgorzej o zróżnicowanym stopniu w zależności od położenia na danym poziomie zawiesia. Najgorzej oczyszczone były ścianki tylne odlewów zawieszonych na poziomie górnym, a najlepiej na dolnym. Tym samym potwierdza się wynik analizy skuteczności działania strumieni skoncentrowanych i rozproszonych,
- otwory oczyszczone były tylko w części wlotowej, natomiast im bliżej dna otworu tym więcej było nieusuniętego lakieru. Dna otworów nie były doczyszczane. Świadczy to o małej skuteczności działania strumieni w takich przestrzeniach. Ponadto w otworach wystąpiło zaleganie śrutu, który stanowił zaporę dla strumienia czyszczącego. W miejscach, gdzie śrut wypadał pod wpływem grawitacji np. z otworów nachylonych w dół, efekt oczyszczania był całkowity. Próby wydłużenia czasu oczyszczania dały nieznaczną poprawę stopnia oczyszczenia, tym samym dowiodły, że istnieje pewna granica czasu oczyszczania danych odlewów, której przekroczenie nie jest uzasadnione technicznie i ekonomicznie.

3.3. Badania przemysłowe oczyszczania odlewów

- Procesowi oczyszczania poddano ten sam asortyment odlewów pokrytych masą z formy odlewniczej (choinki odlewów po wybiciu z formy). Warunki prowadzenia eksperymentu były zgodne z badaniami testowymi. Wyniki badań w pełni potwierdziły zgodność osiągniętego stopnia oczyszczania z oczyszczeniem odlewów testowych.

Stan powierzchni był następujący:

- wszystkie powierzchnie płaskie zostały oczyszczone, różniły się tylko odcieniem barwy; od błyszczącej do matowej,
- otwory skierowane w kierunku obrotu zawiesia były częściowo oczyszczone, natomiast otwory skierowane w przeciwną stronę nadal zawierały resztki masy i śrutu. Widok odlewów po oczyszczeniu przedstawiono na rys.6





Rys.6. Efekt oczyszczania po próbie przemysłowej

4. Podsumowanie

Proces oczyszczania ściernego z zastosowaniem turbin rzutowych cechuje złożoność kinematyczna i dynamiczna. Złożoność ta wynika z metody wytwarzania strumieni śrutu, konstrukcji mechanizmów rzutowych jak i mechanizmu zawieszkowego. Zintegrowanie przestrzeni działania strumieni śrutu z charakterystyką działania mechanizmu zawieszkowego jest główną funkcją do spełnienia w projektowaniu maszyn do oczyszczania odlewów tą metodą. Bardzo ważnym zagadnieniem jest konstrukcja zawiesia i sposób zawieszania odlewów do czyszczenia. Wyniki badań testowych i przemysłowych wykazały jak przebiega proces oczyszczania i w rezultacie jakie powinny być spełnione warunki prowadzące do efektywnych rezultatów.

5. Literatura

- [1] Wrona R., Ziółkowski E., Ślęzyk M.: Analiza kinematyki mechanizmu zawieszkowego w oczyszczarkach wirnikowych. *Archiwum Odlewnictwa. PAN, Katowice 2006, Nr 22*
- [2] Pączek Z., Wrona R., Ziółkowski E., Ślęzyk M., Zyzak P.: Badania i analiza procesu oczyszczania odlewów odlewanych metodą wytapianych modeli w oczyszczarce zawieszkowej OWH-1.0×1.5. Projekt celowy nr ROW-445-2004, Specodlew, Kraków 2005
- [3] Program Corel Draw 12 PL

INNOWACYJNY SYSTEM ZARZĄDZANIA PRZYGOTOWANIEM MASY FORMIERSKIEJ

Manfred MICHENFELDER¹

BUDERUS Kanalguss GmbH Niemcy zmodernizowała swoją instalację przygotowania masy formierskiej, stosując nowy system zarządzania.

Sytuacja wyjściowa

Przed kilkoma laty zbudowano od podstaw instalację przygotowania masy formierskiej w odlewni BUDERUS Kanalguss GmbH. Dzięki nowej linii formierskiej, mieszarce, chłodziarkom, sterowaniu na bazie sterownika SIEMENS S5 oraz systemów pomiaru i regulacji wilgotności firmy Michenfelder Elektrotechnik GmbH & Co. KG przygotowanie masy formierskiej odbywało się w oparciu o najnowsze zdobycze techniki. Systemy pomiarowe i regulacyjne spełniały ówczesne wymagania w zakresie dokładności i niezawodności, choć były tylko osobnymi, indywidualnymi rozwiązaniami w ramach większej sieci, co sprawiało, że system był daleki od precyzji, jaką osiąga się dzisiaj.

Decyzja o modernizacji

Zastosowane elementy sterownicze i regulacyjne przez wiele lat dobrze spełniały swoje zadanie. W bieżącym roku wiele z obszarów technologii automatyzacyjnych, sterowniczych i sieciowych odniosło wiele korzyści z szybkiego postępu technologii informacyjnych. Informacje zwrotne o produkcie zbierane przez sterownik SIEMENS S5 oraz system Michenfelder (urządzenie dozowania wody MICOMP 1) oraz testy przeprowadzone na różnych systemach pomiarowych i regulacyjnych spowodowały, że firma BUDERUS Kanalguss zdecydowała się na modernizację instalacji przygotowania masy formierskiej w oparciu o nowy system kontroli parametrów masy firmy Michenfelder.

Założenia i nowe cele

Instalacja przygotowania masy formierskiej miała zostać zmodernizowana dzięki planowanej inwestycji z nową technologią pomiarową i regulacyjną. Zwykła wymiana według zasady „stare na nowe” nie zadawała firmie BUDERUS Kanalguss, zarówno pod względem sterowania, jak również w zakresie technologii pomiarowej i regulacyjnej. Wymagany był nowy, działający długoterminowo system sterowania, pomiarowy i regulacyjny.

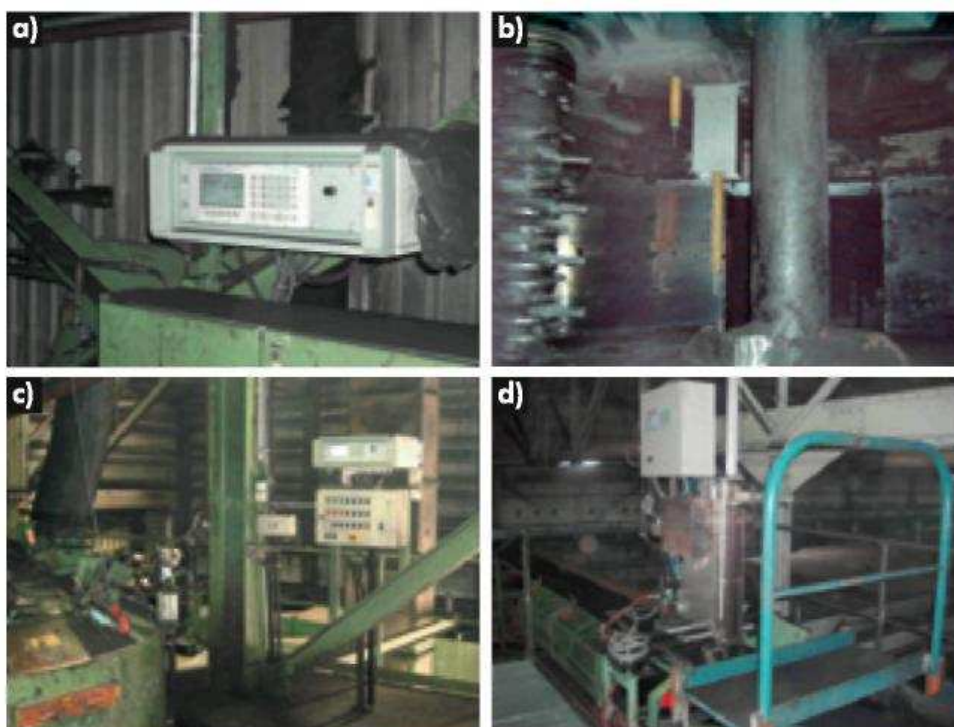
Z uwagi na dobry stan ogólny większej części drogich elementów istniejącej instalacji przygotowania masy formierskiej (mieszarka, chłodziarka, zbiorniki buforowe itp.), które mogą być eksploatowane w dalszym ciągu, celem była również korzystna integracja starych i nowych elementów.

Ponadto modernizacja miała być wykonana w bardzo krótkim czasie, bez negatywnych skutków dla bieżącej produkcji. Wszystkie te założenia zostały określone przez odlewnię BUDERUS Kanalguss. Cele: ujednoczenie sterowania instalacji wewnątrz odlewni i podniesienie jakości masy formierskiej do najwyższego poziomu, tak, aby możliwe było ograniczenie liczby odpadów i wadliwych serii produkcyjnych.

¹ MICHENFELDER ELEKTROTECHNIK

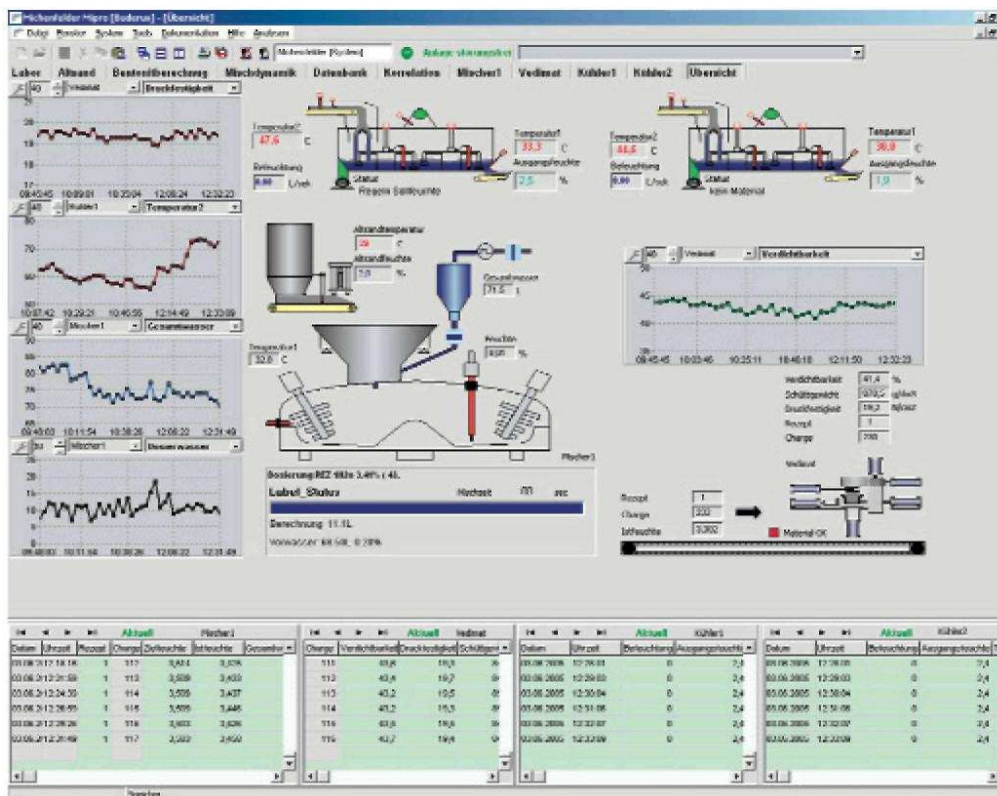
Teoria w praktyce

O nowym systemie zarządzania przygotowaniem masy formierskiej (rys. 1) odlewnia była przekonana już w fazie projektowej. To wtedy zrodził się pomysł zastosowania systemu, który umożliwiłby klientowi centralną, zdalną kontrolę on-line wszystkich istotnych parametrów jakościowych masy formierskiej, począwszy od kraty do wybijania odlewów, aż do linii formierskiej. Nowoczesna technologia komputerowa umożliwia połączenie w sieć, rozmieszczonych w instalacji systemów pomiarowych i regulacyjnych, z zastosowaniem interfejsu „Interbus”. W taki sposób zintegrowano w tym systemie w pełni zautomatyzowane systemy pomiaru i regulacji wilgotności „MI-COMP UNI” w mieszarce i w obu chłodziarkach oraz w pełni automatyczny system kontroli piasku VEDIMAT.



Rys. 1: Elementy pomiarowe i regulacyjne rozmieszczone w systemie sporządzania masy formierskiej: System pomiaru i regulacji wilgotności „MICOMP UNI” na chłodziarce (a), samoczyszcząca elektroda i czujnik temperatury w mieszarce (b), system pomiaru i regulacji wilgotności „MICOMP UNI” w mieszarce (c), system kontroli piasku „VEDIMAT” (d).

Nowe ścieżki wytyczone zostały przez BUDERUS Kanalguss również dzięki rezygnacji ze sterowania z wykorzystaniem sterownika swobodnie programowalnego (SPS) na rzecz sterowania opartego na komputerach PC.



Rys. 2: Widok główny systemu sterowania procesem MiPro z przedstawionymi oddzielnie elementami instalacji (mieszarka z pomiarem wilgotności, dwie chłodziarki i mechaniczny system kontroli parametrów masy formierskiej)

System zarządzania przygotowaniem masy formierskiej

Sercem systemu zarządzania przygotowaniem masy formierskiej jest system zarządzania procesem MiPro (rys. 2 i 3), stanowiący centralną jednostkę sterowania i kontroli jakości masy. Wszelkie dane procesowe z systemów pomiarowych i regulacyjnych rozmieszczonych w instalacji dostarczane są tutaj, gdzie możliwa jest ich łatwa analiza, archiwizacja i akwizycja. Z poziomu spersonalizowanego, w oparciu o potrzeby BUDERUS Kanalguss, przyjaznego użytkownikom interfejsu MiPro można centralnie sterować wszystkimi systemami składowymi przy zastosowaniu maski 1:1, co sprawia, że obsługa ma takie same warunki, jak gdyby stała przed odpowiednim systemem pomiarowo-regulacyjnym.

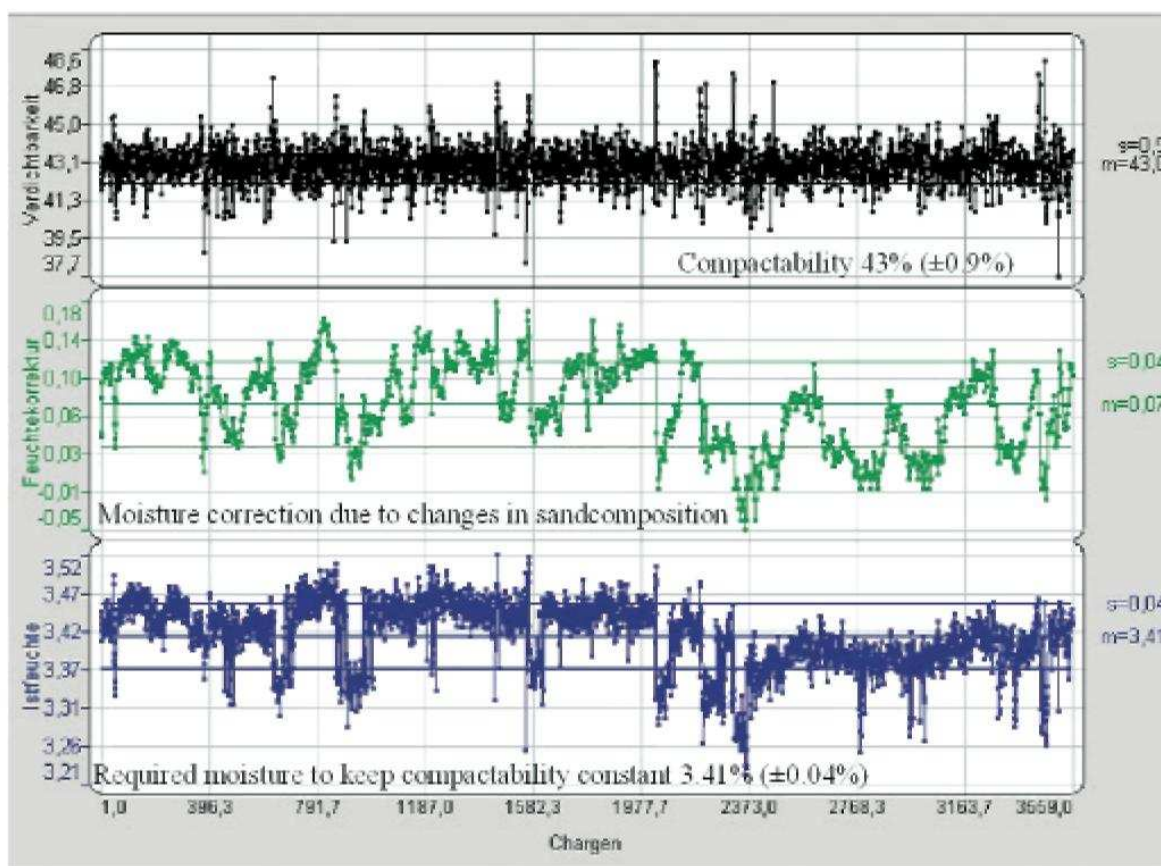
Systemy częściowe zintegrowane w systemie sterowania procesem

Przede wszystkim należy tu podkreślić doniosłe znaczenie precyzyjnego systemu pomiaru i regulacji wilgotności „MICOMP UNI” typ G-CH zamontowanego w mieszarce masy formierskiej firmy Künkel-Wagner. System ten połączony jest ze znajdującym się bezpośrednio przed linią formierską automatycznym systemem kontroli parametrów masy „VEDIMAT”. Współdziałanie tych dwóch połączonych systemów regulacyjnych gwarantuje utrzymanie ustawionych wstępnie parametrów w bardzo niewielkich zakresach. System kontroli parametrów masy formierskiej nadzoruje dodatkowo w trybie on-line stałość zagęszczalności i określa ciężar usypowy, dzięki czemu możliwe jest wyznaczenie zawartości bentonitu. Wprowadzenie dodatkowego wstępnego pomiaru wilgotności przed wagą masy zwrotnej i integracja wyników tych pomiarów w systemie pomiaru i regulacji wilgotności, stanowią dodatkową funkcję zapewniającą

bezpieczeństwo produkcji i umożliwiają jeszcze bardziej precyzyjne dodawanie wody. W systemie MiPro zintegrowane są również nowe systemy pomiaru i regulacji „MICOMP UNI” typ G-91, znajdujące się na obu chłodziarkach masy zwrotnej (ASK100 oraz MC75). Te systemy gwarantują z dużą dokładnością, bardzo istotną dla dalszego procesu przygotowania masy formierskiej, minimalną wilgotność wyjściową za chłodziarkami.

Kontrola końcowa

Dzięki zastosowaniu nowego systemu zarządzania przygotowaniem masy formierskiej uzyskiwana jest bardzo wysoka dokładność w zakresie utrzymania stałej jego jakości. Pokazują to dane z kompletnego, reprezentatywnego miesiąca produkcyjnego w trybie dwuzmianowym w BUDERUS Kanalguss. W tym okresie zagęszczalność mierzona bezpośrednio przed linią formierską wahała się zaledwie w zakresie $\pm 0,9\%$ w odniesieniu do ustawionej wartości zadanej. Taka precyzja możliwa jest tylko dlatego, że regulator wilgotności w mieszarce, połączony z systemem kontroli parametrów masy formierskiej jest w stanie utrzymać wilgotność z dokładnością do setnej części procenta*.



Rys. 3: Parametry sporządzanej masy formierskiej (z bazy danych MiPro).

Stołość zagęszczalności masy w maszynie formierskiej jest również zasługą systemów pomiarowych i regulacyjnych na obu chłodziarkach. Systemy te dbają o to, aby zawartość wody w piasku opuszczającym chłodziarkę wynosiła od 2% do 3% (regulowane wedle życzenia) z dokładnością od $\pm 0,05$ do $0,2\%$. W odniesieniu do dalszego procesu przygotowania w układzie obiegu masy formierskiej ma to bardzo istotne znaczenie.

Korzyści dla odlewni

BUDERUS Kanalguss już po bardzo krótkim czasie odnotował redukcję częstotliwości występowania deformacji ziaren piasku w masie formierskiej oraz wyraźny wzrost jakości masy (w szczególności w odniesieniu do jej płynności). Ten fakt jest dowodem na to, że inwestycja zwróci się szybko zarówno dzięki lepszej jakości masy formierskiej, jak również z przyczyn ekonomicznych.

Podsumowanie

Zamiast wymiany istniejących osobnych układów pomiarowych i regulacyjnych zgodnie z zasadą wymiany „stare na nowe”, BUDERUS Kanalguss zdecydował się na „inteligentną” inwestycję w nowoczesny system sterowana procesem sporządzania masy formierskiej, przy zachowaniu większości kosztownych elementów instalacji (mieszarka, chłodziarki, zbiorniki magazynujące itp.), co pozwoliło na osiągnięcie optymalnej jakości masy formierskiej.

Dzięki odczuwalnym już po krótkim okresie wpływom na produkcję i wynikiom świadczącym o tym, że ta stosunkowo niewielka inwestycja zwróci się w bardzo krótkim okresie, przedsiębiorstwo bardzo szybko zyskało pewność, że wybrano najlepszy projekt.

*) Odchylenie standardowe

Informacje dodatkowe: www.michenfelder.com

MODELOWANIE MATEMATYCZNE PROCESU DYNAMICZNEGO PRASOWANIA MAS FORMIERSKICH

Sergiusz CISKOWSKI¹
Miroslaw GANCZAREK²
Tadeusz MIKULCZYŃSKI³

Zaprezentowano przestrzenny model matematyczny procesu dynamicznego prasowania mas formierskich. Podstawę do opracowania tego modelu stanowił model reologiczny procesu deformacji i zagęszczania masy formierskiej. Do zamodelowania matematycznego procesu deformacji i zagęszczania masy formierskiej przyjęto lepko-sprężysty model reologiczny masy. Stwierdzono, że do badań symulacyjnych opracowanego modelu jest konieczna i wystarczająca znajomość: wymuszenia (siły prasującej) oraz współczynników $k_C=f(\delta)$ i $k_T = f(\delta)$, charakteryzujących własności sprężyste i lepkie masy formierskiej. Badania symulacyjne modelu procesu dynamicznego prasowania mas formierskich zrealizowano przyjmując wymuszenie skokowe. Na podstawie analizy wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych procesu dynamicznego prasowania stwierdzono, że opracowany model poprawnie opisuje ten proces.

1. Wstęp

W Laboratorium Podstaw Automatykacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej są prowadzone od wielu lat prace teoretyczne oraz badawcze dotyczące modelowania matematycznego procesów dynamicznego zagęszczania – impulsowego i dynamicznego prasowania – mas formierskich. Do istotnych osiągnięć z tego zakresu należy zaliczyć opracowanie modelu matematycznego procesu dynamicznego prasowania mas formierskich, który opisano w pracy [1-4].

Podstawę do matematycznego zamodelowania procesu dynamicznego prasowania mas formierskich stanowił opis właściwości reologicznych masy formierskiej, który sformułowano w oparciu o lepko-sprężysty model reologiczny. Do identyfikacji właściwości reologicznych mas formierskich zastosowano metodę czasową, która pozwala na ocenę charakteru właściwości dynamicznych układów fizycznych. Uzyskane charakterystyki czasowe masy formierskiej, dynamicznie zagęszczanej, pozwoliły na stwierdzenie, że zachowuje się ona jak człon oscylacyjny. Stąd można stwierdzić, że właściwości reologiczne masy formierskiej można zamodelować modelem lepko-sprężystym.

Zidentyfikowany model ma jednak pewne ograniczenie dotyczące opisu procesu dynamicznego prasowania mas formierskich. Zaprezentowany w pracy [1] model matematyczny procesu dynamicznego prasowania mas formierskich nie jest modelem przestrzennym ze względu na charakter przyjętego modelu reologicznego masy formierskiej. W tym modelu słup zagęszczanej masy jest traktowany jako punkt materialny, dlatego nie można np. określić na podstawie badań symulacyjnych tego modelu nacisków w zagęszczanej masie w dowolnym miejscu formy.

¹ mgr inż., Politechnika Wroclawska

² dr inż., Politechnika Wroclawska

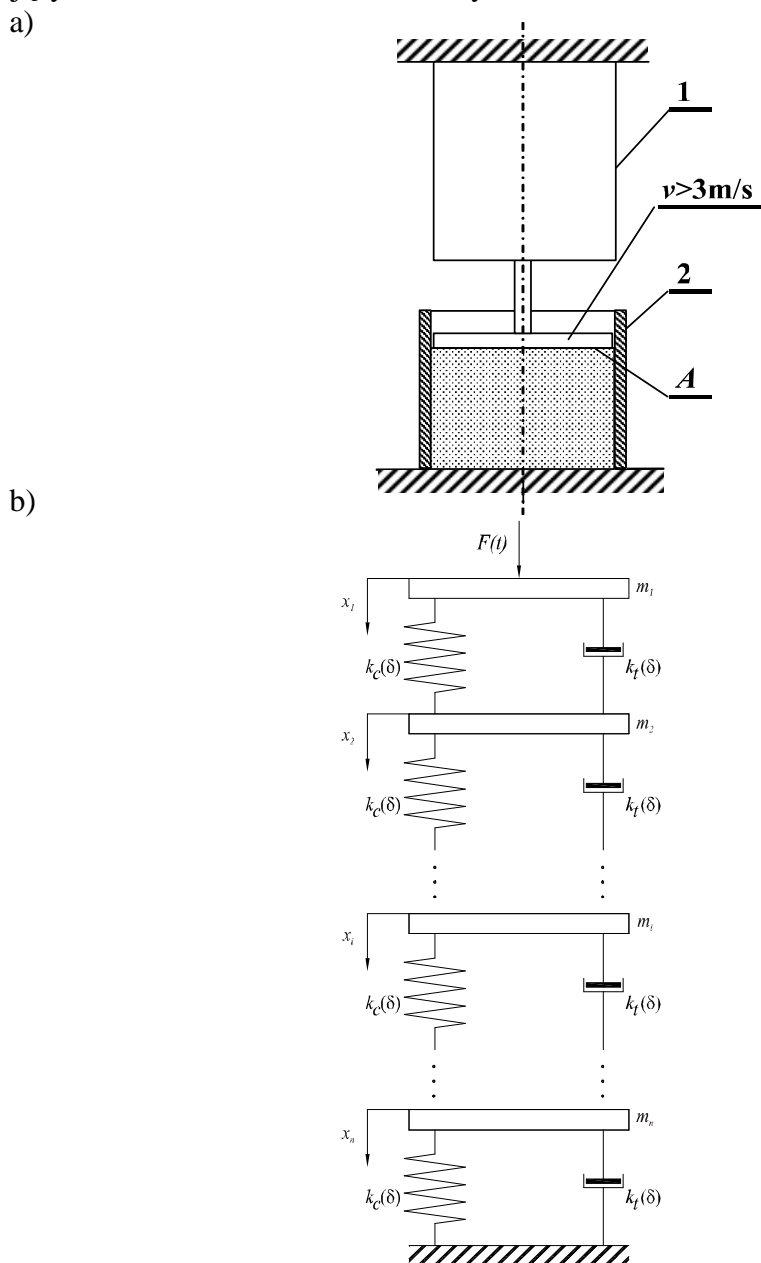
³ prof.dr hab.inż., Politechnika Wroclawska, Tadeusz.mikulczyński@pwr.wroc.pl

W tej pracy zostanie zaprezentowany model, który będzie posiadał cechy modelu przestrzennego i umożliwił opis procesu deformacji i zagęszczania masy w dowolnej warstwie formy.

2. Przestrzenny model procesu deformacji i zagęszczania mas formierskich

Na rysunku 1 pokazano schemat procesu dynamicznego prasowania płytą masy formierskiej. Podstawowym podzespołem głowicy prasującej jest pneumatyczny napęd udarowy (1), pozwalający na uzyskiwanie prędkości ruchu płyty prasującej rzędu 15 m/s. Dzięki temu siłę prasującą można traktować jako wymuszenie skokowe.

Proces dynamicznego zagęszczania masy formierskiej (rys.1) można opisać następującym układem równań różniczkowych:



Rys.1. Schematy procesu dynamicznego prasowania masy formierskiej (a) oraz lepko-sprężystego modelu reologicznego masy (b)

$$\begin{aligned}
m_1 \cdot \ddot{x}_1 + k_T(\delta) \cdot (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_C(\delta) \cdot (x_1 - x_2) &= F + m_1 \cdot g \\
m_2 \cdot \ddot{x}_2 + k_T(\delta) \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_T(\delta) \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + k_C(\delta)(x_2 - x_1) + k_C(\delta)(x_2 - x_3) &= m_2 \cdot g \\
\vdots & \\
m_i \cdot \ddot{x}_i + k_T(\delta) \cdot (\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1}) + k_T(\delta) \cdot (\dot{x}_i - \dot{x}_{i+1}) + k_C(\delta) \cdot (x_i - x_{i-1}) + k_C(\delta) \cdot (x_i - x_{i+1}) &= m_i \cdot g \quad (i) \\
\vdots & \\
m_n \cdot \ddot{x}_n + k_T(\delta) \cdot (\dot{x}_n - \dot{x}_{n-1}) + k_T \cdot \dot{x}_n + k_C(\delta) \cdot (x_n - x_{n-1}) + k_C(\delta) \cdot x_n &= m_n \cdot g
\end{aligned}$$

$$p_{ci}(\delta) = \frac{k_C(\delta) \cdot (x_i(t) - x_{i+1}(t)) + k_T(\delta) \cdot (\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t))}{A} + p_{ui}(\delta)$$

gdzie:

m_i – masa i-tej warstwy masy formierskiej,

x_i – współrzędna położenia i-tej warstwy masy formierskiej.

Poszczególne równania opisują:

- równania (1, 2, ..., n) proces deformacji masy formierskiej,
- równanie (n + 1) naciski w zagęszczanej masie formierskiej.

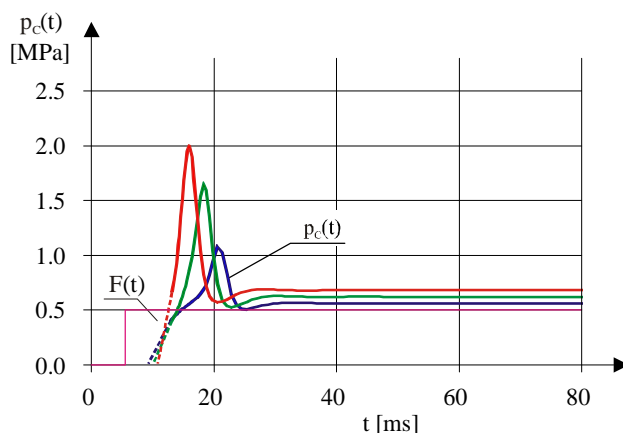
Na podstawie analizy równania (n + 1) można stwierdzić, że:

- w stanach nieustalonych naciski w masie formierskiej stanowią sumę nacisków, które przenoszą elementy lepki i sprężysty oraz będących efektem zagęszczenia masy,
- w stanie ustalonym nacisk w masie formierskiej jest sumą nacisków, które powodują siła prasująca oraz zagęszczenie masy nadające jej określoną wytrzymałość.

3. Wyniki badań symulacyjnych modelu przestrzennego

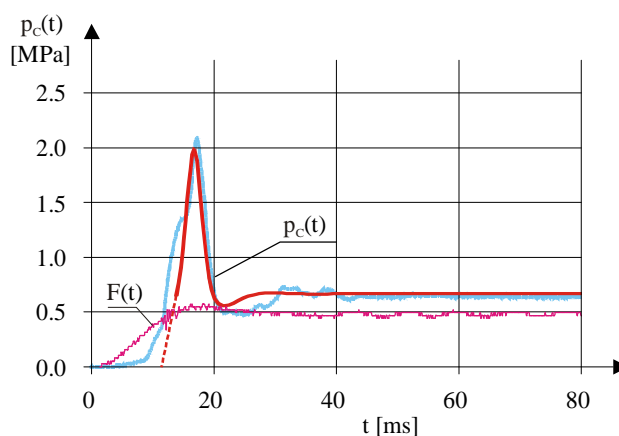
Badania symulacyjne zaprezentowanego modelu matematycznego procesu dynamicznego zagęszczania mas formierskich zrealizowano w środowisku Matlab-Simulink. Badania symulacyjne obejmowały proces dynamicznego prasowania masy formierskiej, której zagęszczany słup podzielono na trzy warstwy.

Na rysunku 2 zamieszczono wybrane wyniki badań symulacyjnych, które przedstawiają zależności zmian nacisku całkowitego w dynamicznie prasowanej masie formierskiej na trzech wybranych wysokościach słupa zagęszczanej masy. W tych badaniach wysokość początkowa słupa zagęszczanej masy formierskiej wynosiła $H_p = 350$ mm.



Rys. 2. Zależności $p_c = f(t)$ przedstawiające zmiany nacisku całkowitego dynamicznie prasowanej masy formierskiej w funkcji czasu na różnych wysokościach słupa zagęszczanej masy

Na rysunku 3 pokazano przykładowe wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych przedstawiające zmiany nacisku całkowitego, przykładowo w pierwszej warstwie zagęszczanego słupa masy formierskiej.



Rys.3. Zależności $p_c = f(t)$ przedstawiające zmiany nacisku całkowitego, w pierwszej warstwie słupa dynamicznie prasowanej masy formierskiej, w funkcji czasu.

Na podstawie analizy przedstawionych wyników badań można stwierdzić, że opracowany model procesu dynamicznego zagęszczania mas formierskich bardzo dobrze opisuje ten proces.

4. Zakończenie

Proces deformacji i zagęszczania masy formierskiej można zamodelować lepko-sprężystym modelem reologicznym. Model w pełni opisujący proces dynamicznego zagęszczania masy formierskiej stanowi szeregowe połączenie modeli opisujących mechanizm deformacji i zagęszczania masy, które stanowią: masa warstwy masy formierskiej i równolegle połączone tłumik i sprężyna. Taki układ można układem równań różniczkowych modelujących proces deformacji i zagęszczania poszczególnych warstw zagęszczanego słupa masy formierskiej. Wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych wykazały, że opracowany model matematyczny bardzo dobrze opisuje proces dynamicznego zagęszczania masy formierskiej.

5. Literatura

- [1] Ganczarek M.: Model matematyczny procesu dynamicznego prasowania mas formierskich - praca doktorska. ITMiA, Wrocław, 2003.
- [2] Ciskowski S., Ganczarek M., Mikulczyński T.: Model matematyczny dynamicznego prasowania mas formierskich, Przegląd Odlewnictwa, nr 9, 2006.
- [3] Ganczarek M., Mikulczyński T., Samsonowicz Z.: Pomiary nacisków w masach zagęszczanych dynamicznie. Przegląd Odlewnictwa, nr 3, 2001.
- [4] Ganczarek M., Kollek W., Mikulczyński T.: Badania symulacyjne i eksperymentalne procesu dynamicznego prasowania mas formierskich. Arch. Odlew. 2002, nr 6.

MONITORING MASZYN I LINII TECHNOLOGICZNYCH PRODUKCJI FIRMY TECHNICAL

Paweł NASKRĘT¹
Sławomir SIETNIK²
Piotr WOŹNIAK³

Wstęp

W dzisiejszych czasach do prawidłowego i optymalnego przebiegu procesu technologicznego potrzebna jest jego ciągła i pełna kontrola oraz analiza wszystkich niezbędnych parametrów. W zintegrowanym procesie technologicznym kontroli oraz monitoringowi powinny być poddane poszczególne maszyny jak i całe linie produkcyjne. Nadzór nad przebiegiem procesu technologicznego, jego analiza oraz podejmowanie decyzji w sytuacjach awaryjnych, to główne zadanie operatora. W zadaniu tym znaczącą rolę odgrywają terminale interfejsów operatora (z ang. Operator Interface Terminals – dalej nazywane OIT). Podstawowymi OIT stanowią dzisiaj różnego rodzaju panele operatorskie.

Wraz z rozwojem nowoczesnej technologii firma Technical, producent maszyn oraz całych linii technologicznych przemysłu odlewniczego, dostosowując się do istniejących na świecie standardów z zakresu sterowania, wprowadza coraz to nowsze rozwiązania związane z obsługą i sterowaniem produkowanych maszyn. Głównymi kryteriami jakimi kierują się konstruktorzy firmy Technical z zakresu automatyki i sterowania podczas tworzenia nowej aplikacji to:

- niezawodność,
- funkcjonalność,
- bezpieczeństwo,
- przejrzystość,
- jednoznaczność,
- łatwość w obsłudze,
- szybkość w reagowaniu na stany alarmowe,
- szybka identyfikacja przyczyn awaryjnych.

1. Oprogramowanie i sprzęt wykorzystywany do monitorowania produkowanych maszyn w firmie Technical

Aby w jak najlepszym stopniu spełnić wszystkie wymienione powyżej kryteria konstruktorzy korzystają z oprogramowania i sprzętu renomowanych firm na świecie takich jak GE Fanuc czy Siemens.

Jednym ze stosowanych systemów do tworzenia aplikacji jest oprogramowanie GE Fanuc Proficy.

Oprogramowanie to umożliwia nie tylko obsługę produkowanych przez firmę urządzeń sterujących (tzn. programowanie ich, konfigurowanie i serwisowanie), ale również tworzenie systemów wizualizacji i śledzenia procesu produkcyjnego oraz zarządzania pochodzącymi z niego informacjami. Ma ono również służyć do sprawnego

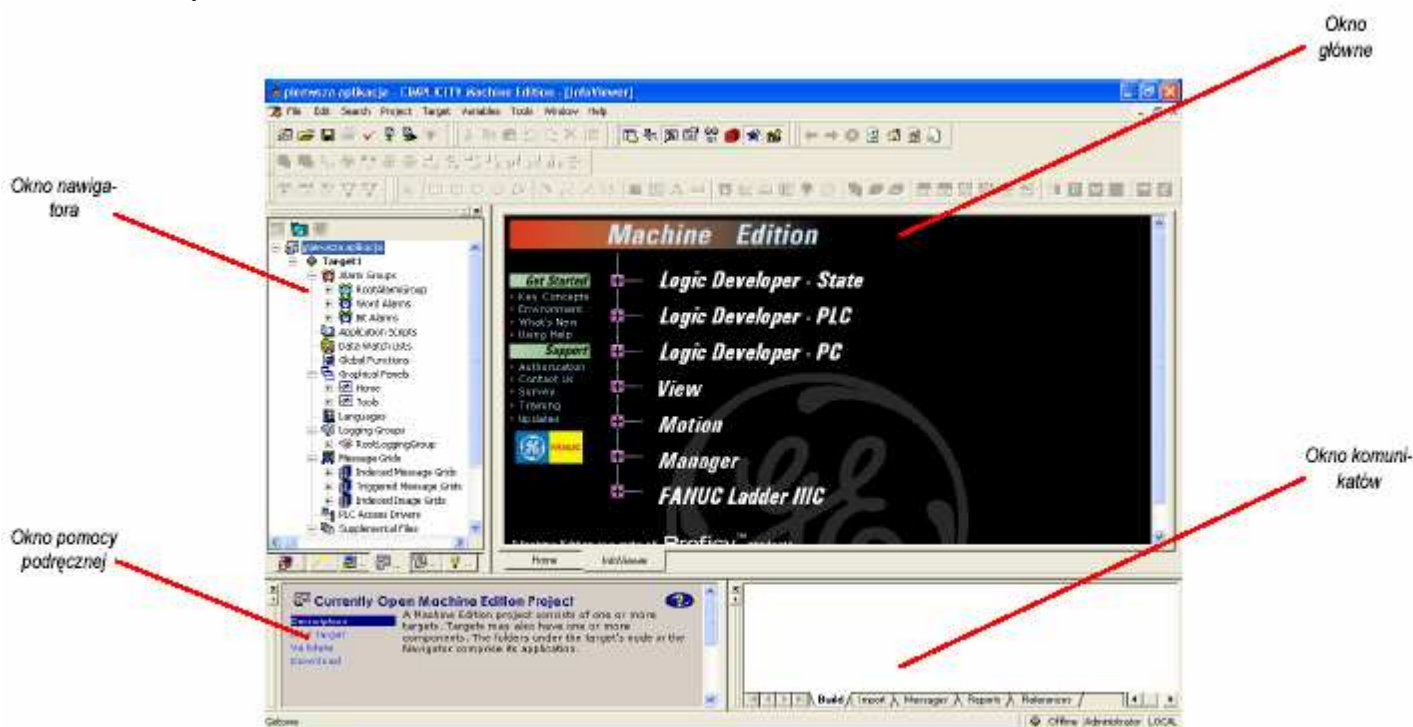
¹ inż., P.P.P TECHNICAL, p.naskret@technical.com.pl

² inż., P.P.P TECHNICAL, s.sietnik@technical.com.pl

³ mgr inż., P.P.P TECHNICAL, p.wozniak@technical.com.pl

zarządzania przedsiębiorstwem przez dostarczanie danych o procesach produkcyjnych osobom odpowiedzialnym za funkcjonowanie zakładu.

Oprogramowanie umożliwia tworzenie rozbudowanych projektów, obejmujących wiele programów sterujących czy układów lokalnej wizualizacji, za pomocą jednego środowiska programistycznego. Wbudowane narzędzia aktywnej pomocy pozwalające na natychmiastowy dostęp do informacji, biblioteka gotowych i tworzonych elementów oraz możliwość pracy nad jednym projektem na wielu stanowiskach to tylko niektóre z funkcji oprogramowania Proficy Machine Edition, które przyspieszają i ułatwiają pracę nad projektami automatyki. Proficy ME składa się z kilku modułów, które służą do obsługi poszczególnych grup urządzeń. Choć każdy z nich może być zakupiony niezależnie, po zainstalowaniu stanowią one jedno narzędzie wykorzystujące wspólną bazę deklarowanych zmiennych.



Rys. 1 Prezentacja oprogramowania Proficy Machine Edition.

Wykonane aplikacje w Proficy ME są instalowane na panelach operatorskich typu Quickpanel CE firmy GE Fanuc. Panele te są najnowszą i najnowocześniejszą rodziną paneli operatorskich w ofercie firmy GE Fanuc Automation. Są to urządzenia wyposażone w:

- ekran dotykowy (monochromatyczny lub kolorowy, z matrycą STN lub TFT) o przekątnej 6", 10", 12" lub 15",
- szybkie procesory Intel XScale,
- pamięć RAM o pojemności 16 MB, 32 MB lub 64 MB (z możliwością rozbudowy do 80 MB, 96 MB lub 128 MB),
- pamięć nieulotną Flash, przeznaczoną do przechowywania aplikacji i danych,
- system operacyjny Microsoft Windows CE.NET.



Rys. 2 Panel typu Quickpanel CE firmy GE Fanuc

Do podstawowych cech tych urządzeń należą bardzo rozbudowane możliwości tworzenia grafiki, animacji obiektów, alarmowania, raportowania, wyświetlania trendów, dorównujące niemalże zaawansowanym pakietom SCADA. Panele te charakteryzują się także bogatymi możliwościami komunikacyjnymi (port szeregowy RS232, RS232/RS485, 1 lub 2x port Ethernet 10/100 Mbit, możliwość dołożenia specjalistycznych kart komunikacyjnych, np. do sieci Profibus). [1]

2. Przykładowe rozwiązania monitoringu maszyn i linii technologicznych firmy Technical

W ramach planu inwestycyjnego, prowadzonego od dwóch lat przez jedną z renomowanych firm w Polsce z kapitałem zagranicznym, zajmującej się wytwarzaniem urządzeń wentylacyjnych, zaistniała potrzeba zautomatyzowania procesu odlewania poszczególnych części wentylatorów ze stopu aluminium. Celem modernizacji części odlewni było zaprojektowanie i stworzenie aplikacji pozwalającej na całościowe sterowanie, kontrolowanie i monitorowanie dwóch procesów:

- proces przygotowania (regeneracji) masy formierskiej,
- proces przygotowania form odlewniczych,

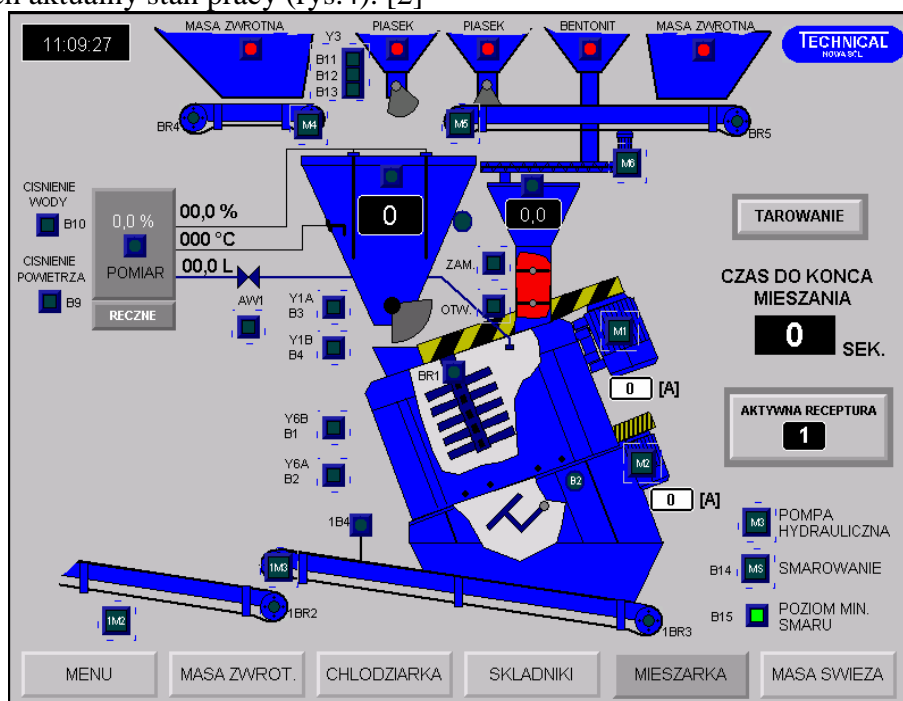
Oba procesy są kontrolowane i monitorowane na panelu graficznym typu Quickpanel umieszczonym na głównym pulpicie sterowniczym (rys. 3).



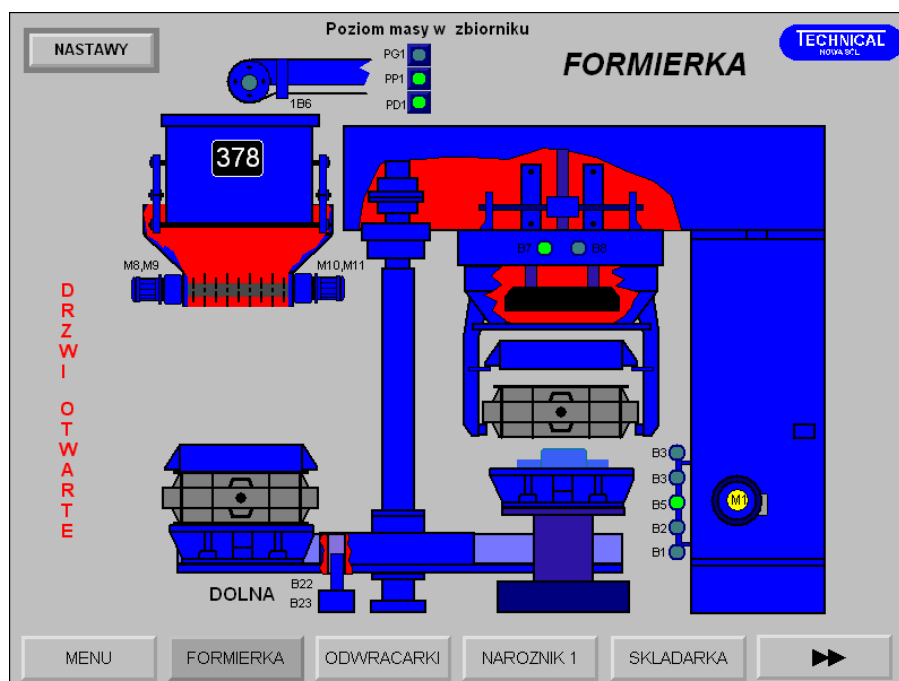
Rys. 3 Widok pulpitu sterowniczego z panelem operatorskim.

Panel jest wyposażony w system operacyjny Windows CE oraz kolorowy 12 calowy, dotykowy ekran. Na panelu zainstalowane jest licencjonowane oprogramowanie umożliwiające obsługę aplikacji typu SCADA.

Całym procesem operator może sterować za pomocą zainstalowanego panelu operatorskiego. Na poszczególnych ekranach panelu przedstawiony jest opisany proces technologiczny. Za pomocą systemu sterowania wykonywana jest kontrola prawidłowości pracy poszczególnych maszyn i urządzeń biorących udział w procesie. Na panelu znajdują się przyciski do załączenia poszczególnych napędów oraz przedstawiony w sposób graficzny ich aktualny stan pracy (rys.4). [2]

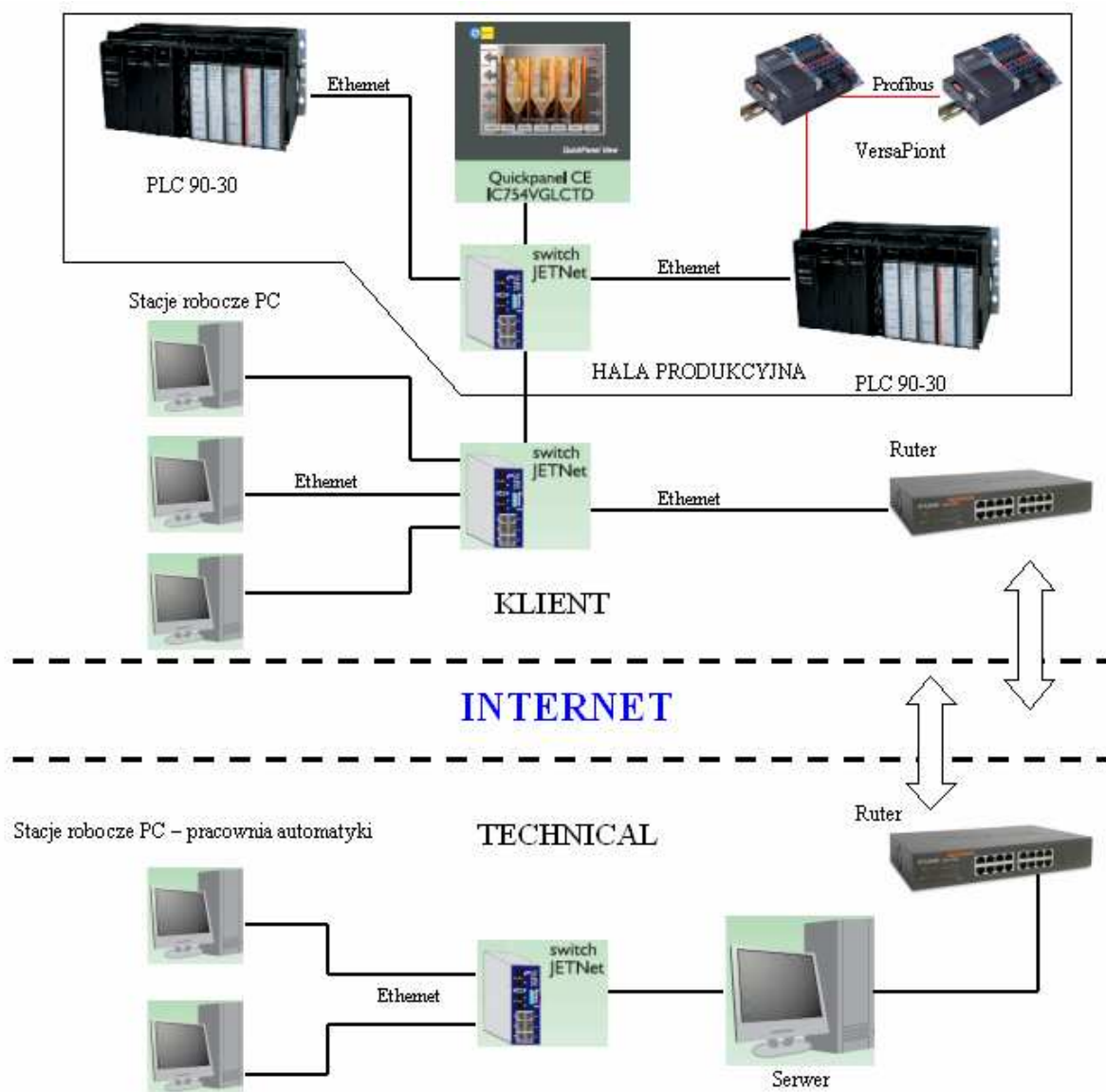


Rys. 4 Ekran wizualizacyjny mieszarki.



Rys. 5 Ekran wizualizacyjny formierki.

Sterowanie powyżej wymienionymi procesami zostało wykonane na dwóch osobnych swobodnie programowalnych sterownikach PLC firmy GE Fanuc. Proces przygotowania masy został wykonany na sterowniku typu GE Fanuc 90-30. Natomiast proces sterowania linią formierską wykorzystuje rozproszony układ o budowie modułowej jakim jest VersaPoint oraz układ centralny na bazie sterownika 90-30. Schemat blokowy systemu monitoringu i sterowania powyższego procesu technologicznego przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6 Schemat blokowy

Dzięki podłączeniu systemu sterowania do sieci Ethernet uzyskano możliwość zdalnego dostępu do układu sterowania poprzez Internet. Rozwiązanie takie daje bardzo duże możliwości szybkiej diagnozy sytuacji awaryjnych oraz korekty programu sterującego, bez potrzeby przyjazdu automatyka – a co za tym idzie, skrócenia do minimum czasu przestoju związanego z awarią bądź zmianą procesu technologicznego.

Istnieje możliwość powiadamiania służby utrzymania ruchu o stanach alarmowych bądź awariach poprzez email czy sms, dzięki temu czas postoju zawiązany z awarią zmniejszamy do minimum, co w obecnych warunkach ekonomicznym ma bardzo duże znaczenie

Dużym atutem takiego systemu sterowania jest możliwość oglądania wizualizacji procesu produkcyjnego w przeglądarce WWW poprzez Internet z dowolnego miejsca na świecie, nie ograniczając przy tym możliwości zmiany nastaw (receptur) bądź podglądania stanów alarmowych.

Możliwa jest również archiwizacja danych procesowych, co pozwala na późniejszą analizę zebranych informacji. Dane archiwalne mogą być przedstawione w postaci raportów lub trendów historycznych. Zebrane dane procesowe mogą być zapisywane na kartach pamięci Flash (instalowanych bezpośrednio w panelu operatorskim) lub poprzez sieć komputerową zapisywane na dysku twardym serwera (lub przeznaczonej do tego celu

stacji roboczej). Zapisywanie danych na kartach pamięci flash jest bardziej niezawodne (unikamy niebezpieczeństwa utraty danych spowodowanych awarią sieci komputerowej), ale utrudniony jest dostęp do zarchiwizowanych danych. Konieczna jest również wymiana kart co jakiś czas ze względu na ich przepełnienie. Zapisywanie danych poprzez sieć komputerową daje możliwość bardzo elastycznego i bezobsługowego archiwizowania danych, które są udostępniane poprzez uprawnionym użytkownikom sieci.

Analiza danych archiwalnych (przez technologa lub inny personel) umożliwia zmianę procesu technologicznego w takim kierunku, aby był on bardziej stabilny i ekonomiczny (poprzez pełniejsze wykorzystanie maszyn i urządzeń znajdujących się w linii produkcyjnej)

Główne założenia jakie zostały osiągnięte przy modernizacji odlewni to:

- uzyskanie określonych parametrów masy zgodnie z recepturą.
- skrócenie czasu przygotowania masy świeżej,
- sterowanie całym procesem z jednego miejsca,
- wizualizacja pracy poszczególnych maszyn biorących udział w procesie,
- szybka lokalizacja wyłączeń awaryjnych,
- kontrola i informacja o wyłączeniach remontowych,
- rejestrowanie zużytych materiałów do produkcji masy formierskiej,
- obniżenie energochłonności,
- samokontrola stanów awaryjnych,
- możliwość wykonywania masy w trybie cyklicznym,
- kontrola napełnienia zbiorników ze składnikami,
- możliwość modyfikacji receptur, [2]

3. Podsumowanie

Systemy monitorujące warunki pracy pozwalają pracownikom utrzymania ruchu na aktywnej i wydajnej pracy zgodnie z planem i harmonogramem. Dzięki temu unikamy niezaplanowanych działań związanych z niespodziewanymi awariami i błędami wyposażenia zakładu pracy.

1. Literatura

[1] Strona internetowa www.astor.com.pl

[2] Praca zbiorowa „Monitoring maszyn i linii produkcyjnych w komputerowym wspomaganiu produkcji.” IX Konferencja Odlewnicza TECHNICAL 2006.

NOWOCZESNE TECHNOLOGIE ODPYLANIA W BRANŻY ODLEWNICZEJ

Jacek CHOCHOWSKI¹

Przedsiębiorstwo ECO INSTAL powstało w roku 1985, jego działalność skoncentrowana jest na trzech płaszczyznach, są to:

- **Technika Ochrony Powietrza**
- **Wentylatory Przemysłowe**
- **Energooszczędne Ogrzewanie Hal**

Centrala firmy zlokalizowana jest w Poznaniu. Infrastruktura projektowo-produkcyjna mieści się w Fabryce Filtrów w Kościanie gdzie produkowane są urządzenia techniki ochrony powietrza stanowiące trzon oferty ECO INSTAL.

W 2002 roku firma uzyskała Certyfikat Systemu Zarządzania Jakością według normy ISO 9001 oraz Certyfikat Systemu Zarządzania Środowiskowego według normy ISO 14001. Firma ECO INSTAL jako lider w zakresie ochrony powietrza może poszczycić się także licznymi nagrodami i wyróżnieniami w tej dziedzinie.

Obecnie ECO INSTAL zatrudnia ok. 150 wykwalifikowanych i doświadczonych specjalistów. Nowoczesna, skuteczna technologia połączona z ekonomicznymi rozwiązaniami, własne biuro projektowe oraz doświadczony zespół inżynierów, pozwalają na profesjonalną realizację inwestycji oraz spełnienie indywidualnych wymagań klientów. Przedsiębiorstwo od początku swojej działalności ukierunkowane jest na specjalizację w zakresie ochrony powietrza. Doświadczenia zdobyte podczas projektowania, produkcji i montażu kilkuset znaczących inwestycji ekologicznych w Polsce, Europie i USA stanowią podstawowy atut konkurencyjności i sukcesów firmy.

W swojej ofercie ECO INSTAL posiada:

- Modułowe Filtry Warkowe typu **FLAT-BAG**,
- filtry warkowe o dużych wydajnościach typu **ECO-JET**
- instalacje neutralizacji gazów (suche, półsuche, mokre),
- instalacje dopalania gazów,
- cyklofiltry typu **CF**,
- odpylacze mechaniczne,
- systemy schładzania gazów,
- wentylatory przemysłowe,
- urządzenia do odbioru i transportu pyłów,
- systemy centralnego odkurzania pomieszczeń przemysłowych,
- kanały, kompensatory, przepustnice i konstrukcje stalowe, itp.

Stosowane przez firmę ECO INSTAL rozwiązania charakteryzują się bardzo wysoką skutecznością ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery oraz niskimi kosztami eksploatacji. Ze względu na nowatorską konstrukcję gabaryty urządzeń są znacznie mniejsze od urządzeń tradycyjnych i cechują się prostą obsługą.

¹ mgr inż., *Eco Instal Kościan, chochowski@ecoinstal.pl.*

Oferta ECO INSTAL dla branży odlewniczej

ECO INSTAL proponuje następujące instalacje mające zastosowanie w branży odlewniczej:

- ⇒ Instalacja odpylania mieszarki masy formierskiej
- ⇒ Instalacja odpylania schładzarki masy formierskiej
- ⇒ Instalacja odpylania suszarni piasku
- ⇒ Instalacja odpylania kraty wstrząsowej
- ⇒ Instalacja odpylania oczyszczarki śrutowej i piaskarki
- ⇒ Instalacja odpylania szlifierki
- ⇒ Instalacja odpylania stanowiska sferoidyzacji
- ⇒ Instalacja odpylania pieca łukowego
- ⇒ Instalacja odpylania pieca indukcyjnego
- ⇒ Instalacja odpylania żeliwiaków z zimnym i gorącym dmuchem
- ⇒ Instalacja odpylania linii automatycznego zalewania

Firma ECO INSTAL może poszczycić się wieloma tematami zrealizowanymi w branży odlewniczej, scharakteryzować je można pokrótce na przykładzie dwóch wybranych instalacji:

- 1) odpylanie pieców indukcyjnych średniej częstotliwości z kołpakami odciągowymi sterowanymi hydraulicznie
- 2) odpylanie linii zalewania, stacji regeneracji mas oraz chłodziarki mas formierskich

Cechą wyróżniającą pierwszą instalację spośród innych jest system regulacji wydajności w zależności od potrzeb urządzeń odpylanych. Cała instalacja odpyła dwa piece indukcyjne o pojemności 8 ton i jeden piec o pojemności 12 ton oraz stanowisko sferoidyzacji żeliwa. W instalacji tej występuje duża nierównomierność pracy poszczególnych urządzeń. Stanowisko sferoidyzacji pracuje tylko okresowo i przez bardzo krótki czas, natomiast piece pracują najczęściej jednocześnie, jednak ze względu na różne fazy pracy wymagają różnego zapotrzebowania odciąganego powietrza. W dotychczas wykonywanych instalacjach, albo nie wykonywano żadnej regulacji, albo regulowano wydajność odciąganych gazów za pomocą aparatu kierowniczego sterowanego siłownikiem. Tego typu instalacje nie pozwalały na zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych instalacji.

W wykonanej przez ECO INSTAL instalacji do regulacji wydajności odciąganych gazów, został zastosowany przemiennik częstotliwości sterujący obrotami wentylatora w zależności od podciśnienia panującego na instalacji. W skrzynce sterowniczej nastawiony został próg podciśnienia, który jest mierzony przez czujnik i w zależności od zmierzonej wartości steruje on obrotami wentylatora. Przy piecach zamontowane zostały przepustnice sterowane płynnie umożliwiające ustawienie dowolnej ilości odciąganych gazów, natomiast przy stanowisku sferoidyzacji zamontowana jest przepustnica zamykająca lub otwierająca ciąg gazów w momencie postoju stanowiska lub jego pracy. Otwarcie lub zamknięcie którejkolwiek przepustnicy powoduje zmianę podciśnienia w instalacji odpylającej, która jest zauważana przez czujnik i szybko znajduje to odzwierciedlenie w obrotach wentylatora wyciągowego. Dzięki przemiennikowi zmniejszenie obrotów wentylatora powoduje także zmniejszenie zużycia energii elektrycznej, co daje znaczne oszczędności eksploatacyjne.

Odpowiednia wydajność instalacji odpylającej dopasowana do poszczególnych faz pracy pieców nie powoduje niepotrzebnego studzenia pieców przy zamkniętych kołpakach odciągowych, co również pozytywnie wpływa na ich wydajność. Instalacja pracująca przez

większość czasu na niższych wydajnościach odciąganych gazów emituje najczęściej znacznie niższy poziom hałasu oraz zwiększa żywotność urządzeń odpylających i kanałów. Jedną z ważniejszych cech tego typu układu jest również pozytywny wpływ na poziom emisji pyłów do atmosfery. Poprzez zmniejszenie obciążenia włókniny filtracyjnej, dzięki pracy filtra przez dłuższy okres czasu na mniejszej niż nominalna wydajności, z zakładanego poziomu emisji poniżej 10 mg/m^3 udało się uzyskać emisję poniżej poziomu mierzalności stosowanych przyrządów, czyli szacujemy, że jest ona na poziomie znacznie niższym niż 1 mg/m^3 .



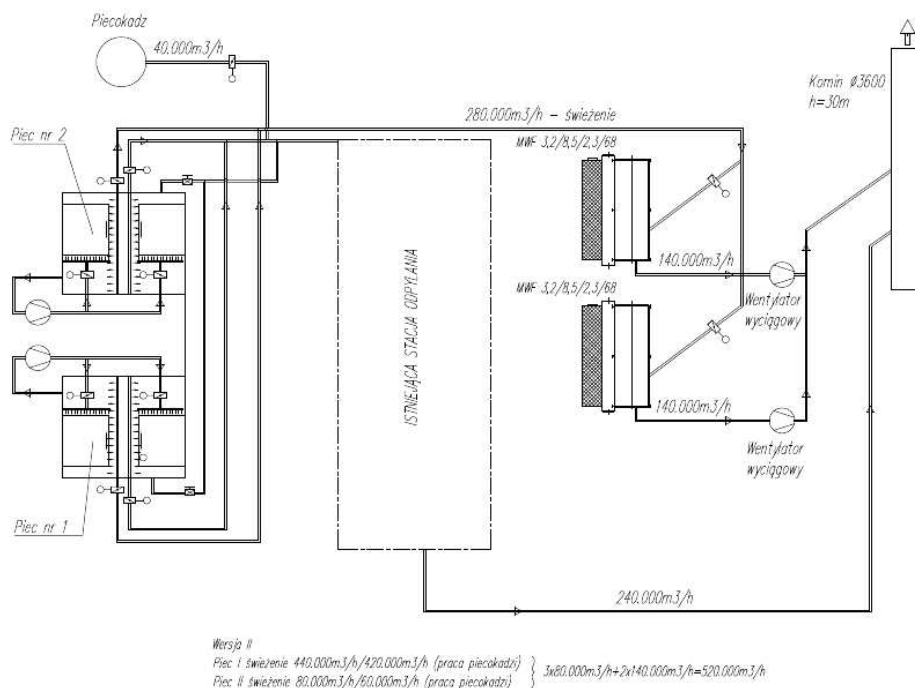
Instalacja odpylania pieców indukcyjnych

Podobne systemy sterowania wydajnością instalacji stosujemy z powodzeniem w przypadku odpylania pieców łukowych. Obecnie ECO INSTAL realizuje instalacje na wydajność $520.000 \text{ m}^3/\text{h}$ do odpylania pieców łukowych o pojemności 30 ton każdy oraz piecokadzi o pojemności 60 ton. Dzięki zastosowaniu kilku filtrów udało się zaprojektować instalację tak, aby wydajności instalacji były dopasowane do zmiennych faz pracy urządzeń odpylanych bez konieczności stosowania przemienników częstotliwości, które dla tak dużych wydajności instalacji a co za tym idzie dużych mocy silników byłyby bardzo kosztowne.

Poniżej przedstawiono schemat instalacji odpylania pieców łukowych:

Wersja II

$$\left. \begin{array}{l} \text{Piec I świeżenie } 440.000 \text{ m}^3/\text{h} / 420.000 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (praca piecokadzi)} \\ \text{Piec II topienie } 80.000 \text{ m}^3/\text{h} / 60.000 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (praca piecokadzi)} \end{array} \right\} 3 \times 80.000 \text{ m}^3/\text{h} + 2 \times 140.000 \text{ m}^3/\text{h} = 520.000 \text{ m}^3/\text{h}$$



Druga z prezentowanych w niniejszym referacie, wybranych instalacji realizowanych przez ECO INSTAL to instalacja odpylania linii zalewania, stacji regeneracji mas oraz chłodziarki mas formierskich. Instalacja ta miała na celu oczyszczenie powietrza praktycznie z całej odlewni na filtrach, którym postawiono bardzo wysokie normy odnośnie poziomu emisji pyłów do atmosfery, poziomu hałasu oraz miejsca przeznaczonego pod urządzenia.

Miejsce pod zabudowę urządzeń oraz względy ekonomiczne spowodowały, że firma ECO INSTAL wykonała trzy filtry posadowione na wspólnej konstrukcji. Klient zwracał szczególną uwagę na oszczędności cieplne, w związku z czym powietrze pochodzące z stacji przerobu mas po oczyszczeniu jest zawracane na halę w okresie zimowym. Powietrze z linii zalewania oraz z chłodziarki mas formierskich, ze względu na skład gazów oraz zawartość pary wodnej jest przez cały rok emitowane do kominu. Zawracanie powietrza na halę jest możliwe dzięki zastosowaniu układu przepustnic oraz wyposażeniu instalacji w drugi stopień filtracji gwarantujący emisję pyłów poniżej 1 mg/m³.

Drugi stopień filtracji wyposażony jest w nieregenerowalne wkłady filtracyjne, których opory mierzone są za pomocą dodatkowego przetwornika różnicy ciśnień. Po osiągnięciu granicznych oporów (zapchaniu wkładów), szafka sterownicza wyświetla alarm i konieczna jest wymiana wkładów na nowe. Drugi stopień filtracji jest przede wszystkim zabezpieczeniem uniemożliwiającym emisję pyłu na halę w przypadku np. uszkodzenia materiału filtracyjnego filtra workowego. W celu dodatkowych zysków cieplnych wentylatory zostały wyposażone w aparaty kierownicze sterowane automatycznie zamykane po wyłączeniu wentylatorów w celu zapobiegnięcia grawitacyjnemu wypływowi ciepłego powietrza z hali. Cała instalacja rurowa po stronie czystej wraz z kominem oraz wentylatory, zostały zaizolowane cieplnie. Zastosowanie izolacji znacznie zmniejszyło również poziom hałasu.



Instalacja odpylania linii zalewania, stacji regeneracji mas oraz chłodziarki mas formierskich

Mając na uwadze coraz większe wymagania klientów, odnośnie kosztów eksploatacji instalacji odpylających oraz ich parametrów technicznych, związanych przede wszystkim z hałasem oraz elastycznością układów odpylających (częste zmiany wydajności odciąganych gazów), firma ECO INSTAL nieustannie doskonali swoją ofertę. Dzięki rozwijającej się kreatywnej i nowoczesnej myśli technicznej możliwe stało się pogodzenie niskich kosztów eksploatacyjnych instalacji z wysoką skutecznością odpylania.

NOWOCZESNY SYSTEM PRZYGOTOWANIA MASY FORMIERSKIEJ NA PRZYKŁADZIE ODLEWNI „VENTURE INDUSTRIES” GRUDZIĄDZ

Czesław RUDY¹
Aleksander FEDORYSZYN²
Janusz KAŻMIERCZAK³

1. Wstęp

W latach 2005/2006 firma TECHNICAL Nowa Sól wybudowała dla szwedzkiej firmy VENTURE INDUSTRIES w Grudziądzu nową odlewnię, która zastąpiła starą odlewnię wyposażoną w stację przerobu masy formierskiej z dwoma mieszarkami krążnikowymi MK-050 oraz stanowiskami formierskimi wyposażonymi w maszyny formierskie wstrząsowo-prasujące typu FKT-65.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że lokalizacja nowej stacji przerobu masy formierskiej i automatycznej linii formierskiej, skrzynkowej dotyczyła tych samych miejsc posadowienia wyeksploatowanych urządzeń. Wykonanie kompleksowej realizacji projektu modernizacji odlewni było bardzo trudnym zadaniem dla inżynierów z firmy TECHNICAL. Wymagało szczegółowego prognozowania każdego etapu realizacji przy zachowaniu ciągłości produkcji odlewni.

W pierwszej kolejności w miejscu istniejącej stacji przerobu mas formierskich zainstalowano nową stację SPM-45. W tym samym czasie wykonywano fundamenty na potrzeby nowoczesnej automatycznej linii formierskiej ALF-100.80.

2. Założenia programu modernizacji w odlewni VENTURE INDUSTRIES Grudziądz

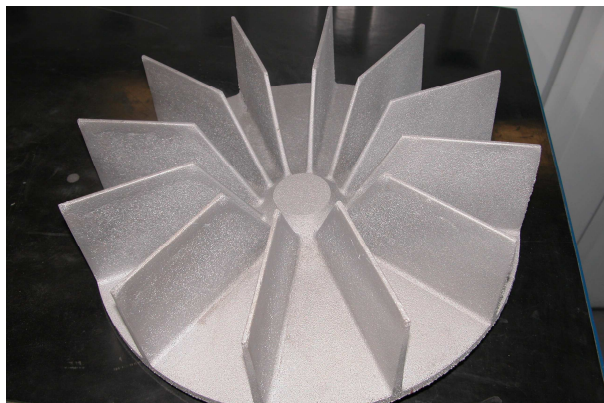
Wytwarzanie odlewów w formach piaskowych wykonanych z masy formierskiej z bentonitem umożliwia mechanizację i automatyzację procesu formowania [1÷3]. Niski koszt materiałów formierskich oraz możliwość produkcji zróżnicowanego asortymentu odlewów pod względem stopnia skomplikowania oraz gabarytów przemawia za zastosowaniem tej technologii w odlewni VENTURE INDUSTRIES Grudziądz [4].

Program produkcyjny odlewni VENTURE INDUSTRIES Grudziądz, obejmuje produkcję takich odlewów jak korpusy oraz wirniki wentylatorów różnej wielkości (rys. 1, 2). Odlewy te charakteryzują się dużym stopniem skomplikowania, a ponadto są to w większości odlewy cienkościenne.

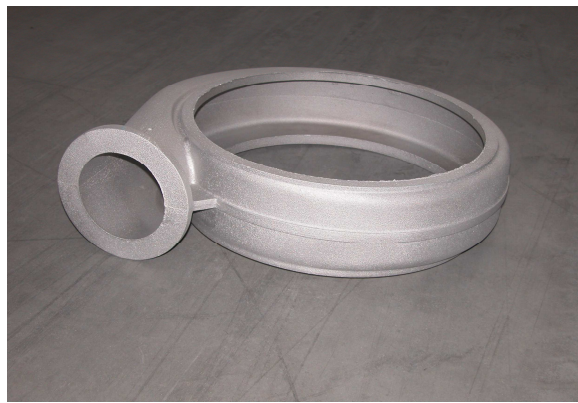
¹ mgr inż. Prezes TECHNICAL, cz.rudy@technical.com.pl

² dr hab. inż., prof. nadzw. AGH alfa@uci.agh.edu.pl

³ mgr inż. Dyrektor Odlewni Venture Industries O/Grudziądz, janusz.kazmierczak@venture.pl



Rys.1. Odlew wirnika wentylatora



Rys.2. Odlew korpusu wentylatora

Założenia wstępne do modernizacji wyposażenia, powstałe na podstawie analizy asortymentu odlewów produkowanych dotychczas oraz przewidzianych do produkcji, sformułowano następująco:

- formy odlewnicze będą wykonywane z jednolitej masy syntetycznej z bentonitem, wykonywanej z piasku kwarcowego oraz mieszanki bentonitowej ze środkiem węglotwórczym,
- przerób masy formierskiej (odświeżanie masy i przygotowanie masy zwrotnej) odbywać się będzie w ramach stacji przerobu mas formierskich SPM-45, wyposażonej w nowoczesne urządzenia, takie jak: mieszarka turbinowa (wirnikowa) MTP-1500 oraz chłodziarka wibrofluidyzacyjna CFM-3510 [7],
- wytwarzanie form będzie się odbywać z użyciem formierki impulsowo-prasującej FT-108 produkcji TECHNICAL [5÷7],
- automatyczna linia formierska ALF-100.80 o wydajności 50 form/h jest przeznaczona do wykonywania odlewów w skrzynkach formierskich o wymiarach 1000×800×300/300 mm, będzie wyposażona w urządzenia wg. projektu i wykonawstwa firmy TECHNICAL Nowa Sól [7].

Podstawowym wyposażeniem linii jest automat formierski typu FT-108, impulsowo-prasujący produkcji TECHNICAL. Daje możliwość wielowariantowej realizacji zagęszczania masy formierskiej z bardzo zróżnicowaną dynamiką, dzięki zastosowaniu dwóch technik zagęszczania masy formierskiej. Zastosowana technika formowania charakteryzuje się korzystnymi efektami technologicznymi. Uzyskuje się dużą dokładność odwzorowania skomplikowanych modeli, wysoką wartość stopnia zagęszczenia oraz korzystny jego rozkład, co sprzyja dokładności wymiarowej form i odlewów.

3. Stacja przerobu masy formierskiej z bentonitem SPM-45

W odlewni VENTURE INDUSTRIES Grudziądz do wykonywania form odlewniczych zastosowano syntetyczną masę formierską z bentonitem wykonywaną z zastosowaniem urządzeń stacji przerobu mas formierskich SPM-45 o wydajności max 45t/h (rys.3, 4). Do przygotowania masy zwrotnej zastosowano chłodziarkę wibrofluidyzacyjną CFM-3510 o wymiarach perforowanego dna 3500 × 1000 mm, a do odświeżania masy formierskiej zwrotnej zastosowano mieszarkę turbinową (wirnikową) MTP-1500 o jednorazowym załadunku 1500 kg.



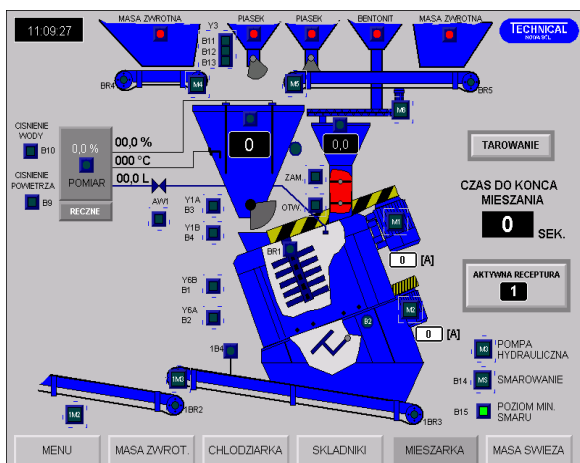
Rys.3. Systemu sporządzania mas formierskich bentonitowych SPM-45w odlewni VENTURE INDUSTRIES Grudziądz



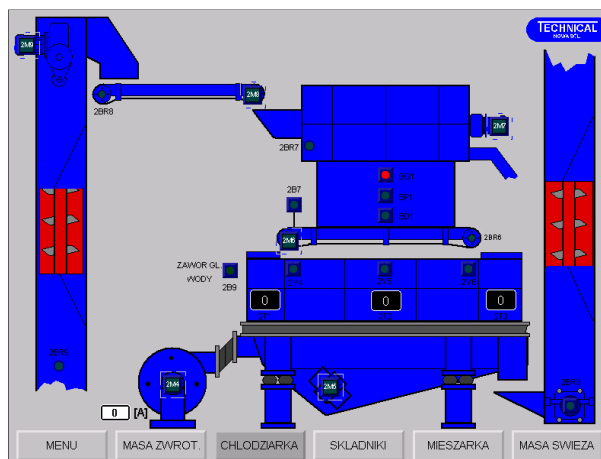
Rys.4. Zabudowa mieszarki turbinowej MTP-1500

System sporządzania mas formierskich bentonitowych został zaprojektowany i wykonany jako układ modułowy (rys.5, 6), składający się z następujących urządzeń i systemów:

- mieszarka turbinowa MTP-1500,
- waga elektroniczna masy zwrotnej i piasku odświeżającego WTM-1500,
- waga elektroniczna mieszanki (bentonitowo-węglowej) WTD-150,
- dozownik taśmowy masy zwrotnej DT,
- dozownik śrubowy mieszanki DS,
- chłodziarka wibrofluidyzacyjna CFM-3510 (gwarantująca schłodzenie masy formierskiej zwrotnej do temperatury ok. 10⁰C powyżej temperatury otoczenia oraz nawilżenie masy formierskiej, zwrotnej do około 2 % H₂O,
- zbiorniki magazynujące: masę zwrotną, piasek świeży (suchy), mieszankę (bentonitowo-węglową) wraz z sondami poziomów napełnienia,
- system pneumatycznego załadunku piasku świeżego (suchego) i mieszanki z cystern transportowych do zbiorników magazynujących,
- system automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej, umożliwiający uzyskanie zadanej wilgotności masy formierskiej z dokładnością +/- 0,1% H₂O,
- system sterowania elektronicznego z wizualizacją przebiegu procesu przerobu, umożliwiający realizację pracy urządzeń SPM-45 w cyklu automatycznym oraz wprowadzania receptur mas formierskich z określonym cyklem ich sporządzania.



Rys.5. Schemat technologiczny systemu sporządzania mas formierskich bentonitowych – zabudowa mieszarki turbinowej MTP-1500



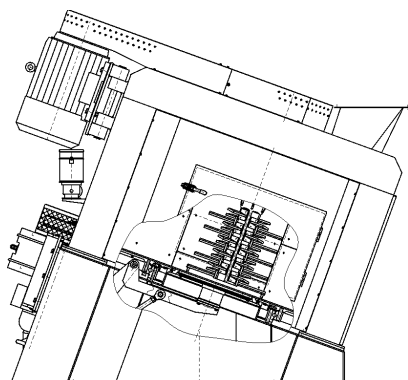
Rys.6. Schemat technologiczny systemu chłodzenia masy formierskiej bentonitowej – zabudowa chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CFM-3510

4. Mieszarka turbinowa MT-1500

Mieszarki turbinowe produkowane przez TECHNICAL należą do najnowszej generacji maszyn odlewniczych przeznaczonych do sporządzania syntetycznych mas formierskich bentonitowych. W mieszarkach turbinowych MTP oraz MTI są realizowane operacje dynamicznego przemieszczania cząstek masy wywołanego przez trzy elementy robocze: ruchomą misę, szybkoobrotową turbinę (jedną lub dwie) i zespół lemieszki kierujących.

P.P.P. TECHNICAL- Nowa Sól produkuje mieszarki turbinowe o różnej wydajności, związanej z wielkością misy (wielkością załadunku):

- z obrotową misą o pochyłej osi obrotu, stałym lemieszem oraz jednym szybkoobrotowym wirnikiem, są to mieszarki: MTP-250, MTP-500, MTP-1000, MTP-1500, MTP-2000 (rys.7),
- z obrotową misą o pionowej osi obrotu, stałym lemieszem oraz dwoma wysokoobrotowymi wirnikami, są to mieszarki: MTI-2500, MTI-3000, MTI-4000, MTI-5000.



Rys.7. Mieszarka turbinowa MTI-1500 produkcji TECHNICAL Nowa Sól, zamontowaną w odlewni VENTURE INDUSTRIES Grudziądz

5. System chłodzenia masy formierskiej zwrotnej.

Podstawowymi parametrami masy formierskiej, umożliwiającą uzyskanie odlewów o dobrej jakości, są między innymi jej temperatura i wilgotność. Problem konieczności intensywnego chłodzenia masy występuje z reguły w odlewniach posiadających linie wytwarzania odlewów. Zasób masy i czas jej wymiany powoduje, że jest niewystarczające naturalne schłodzenie.

Realizowana metoda chłodzenia polega na odparowaniu wody dodanej do masy wspomaganie przedmuchiwaniami zasobu powietrzem. System nawilżania masy w chłodziarce obejmuje 3 stopnie zraszania. Ilość wody podawanej można indywidualnie kształtować na wszystkich stopniach.

Zimne powietrze, tłoczone przez wentylator do komory powietrznej, przepływając przez otwory przegrody fluidyzacyjnej, a potem przez warstwę masy intensyfikuje odparowanie.

Podgrzane i zanieczyszczone powietrze, po przejściu przez warstwę chłodzonego materiału, jest odciągane przez króciec wylotowy do cyklonu celem wstępnego oczyszczenia.

Chłodziarka (rys.8) gwarantuje intensywne schłodzenie masy formierskiej zwrotnej do temperatury dopuszczalnej tj. ok. 15⁰C powyżej temperatury otoczenia.

Do zalet procesu chłodzenia fluidyzacyjnego można zaliczyć:

- schłodzenie masy formierskiej zwrotnej do temperatury ok. 15⁰C powyżej temperatury otoczenia,
- ujednorodnienie masy formierskiej zwrotnej z równoczesną jej homogenizacją,
- nawilżenie wstępne masy formierskiej zwrotnej do poziomu ok. 1,5,% do 2,5 % H₂O,
- oczyszczenie masy formierskiej zwrotnej z nieaktywnych cząstek bentonitu i innych przepalonych cząstek w procesie przedmuchiwania strumieniem powietrza.

6. Pomiar i regulacja wilgotności masy formierskiej

Do automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności w stacji przerobu mas formierskich SPM-45 zastosowany jest system automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności typ RWM-1 firmy TECHNICAL (rys.9). System umożliwia regulację wilgotności masy formierskiej z dokładnością +/- 0,1% H₂O od wartości zadanej.

Bazuje on na pomiarze podstawowych własności fizycznych masy obiegowej takich jak wilgotność, temperatura i gęstość usypowa. Pomiarów tych dokonuje się podczas dozowania masy zwrotnej do wagi.

Pomiaru wilgotności dokonują sondy (kondensatory prętowe) zanurzone w masie i zabudowane we wnętrzu zbiornika wagowego. Metoda pomiaru bazuje na pomiarze stałej dielektrycznej materiału. Ponieważ stała dielektryczna mieszaniny piasku kwarcowego z dodatkami jest dużo mniejsza od stałej dielektrycznej wody możliwe jest precyzyjne określenie wilgotności mierzonego materiału.

Pomiaru temperatury dokonują czujniki zamontowane na ściankach zbiornika również zanurzone w masie obiegowej.

Wartości mierzonych wielkości są przekazywane do urządzenia centralnego wilgotnościomierza, który oblicza wymaganą ilość wody, jaką należy podać do mieszarki podczas procesu mieszania dla uzyskania właściwej, założonej wilgotności.



Rys.8. Zabudowa chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CFM-3510



Rys.9. Ekran synoptyczny automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności typ RWM-1

7. System sterowania i wizualizacji pracy stacji przerobu masy formierskiej SPM-45 oraz automatycznej linii formierskiej ALF-100.80

System sterowania bazuje na sterowniku swobodnie programowalnym serii 90-30 firmy GE Fanuc. Sterowanie wykonano przy pomocy oprogramowania użytkowego SIMPLICITY Machine Edition. Program sterujący dotyczy realizacji algorytmu wiążącego sygnały wejściowe, które dopływają do sterownika z sygnałami wyjściowymi służącymi do sterowania urządzeniami wykonawczymi. Sterownik czuwa nad przebiegiem cyklu pracy automatycznej, a także pracy poszczególnych mechanizmów w przypadku sterowania ręcznego oraz przy próbach mechanizmów. Sterownik wykonuje polecenia operatora za pośrednictwem aparatury sterowniczej umieszczonej na pulpicie, którego głównym elementem jest panel operatorski QUICKPANEL z ekranem dotykowym komunikujący się bezpośrednio ze sterownikiem. Wynikiem jego działania są odpowiednie sygnały uruchamiające obwody wyjściowe sterowania (cewek styczników, zaworów, elementów sygnalizacji).

System sterowania i wizualizacji umożliwia:

- bezobsługową pracę całej stacji przerobu mas formierskich SPM-45 oraz linii odlewniczej ALF-100.80,
- wizualizację i kontrolę procesu prowadzoną z kabiny sterowniczej,
- wprowadzanie i rejestrację parametrów pracy urządzeń,
- możliwość pracy z masą formierską o zróżnicowanym składzie, dowolnie zadanym oraz w dowolnym, zadanym czasie,
- możliwość przyporządkowania symbolu modelu do odpowiedniej receptury masy formierskiej,
- bieżącą analizę stanów pracy poszczególnych urządzeń i mechanizmów z natychmiastową lokalizacją ewentualnych przyczyn awarii.

Obsługa w zakresie sterowania oraz wizualizacji stacji przerobu mas formierskich SPM-45 oraz automatycznej linii formierskiej ALF-100.80 jest realizowana przy pomocy dwóch pulpitu sterowniczych; jednego zainstalowanego w sterowni (rys.10) i drugiego zainstalowanego na stanowisku operatora automatu formierskiego FT-108. Ponadto w pobliżu poszczególnych urządzeń linii są stosowane skrzynki sterowania remontowego. Układ sterowania umożliwia trzy podstawowe tryby sterowania urządzeń: sterowanie automatyczne, ręczne w blokadzie i remontowe (lokalne).



Rys.10. Pulpit sterowniczy SPM-45 oraz ALF-100.80 z systemem wizualizacji



Rys.11. Ekran nastaw technologicznych - receptury masy formierskiej

System wizualizacji składa się z takich, czterech zasadniczych elementów, jak:

- ekrany synoptyczne z graficzną, animowaną prezentacją procesu, będącą w pewnym stopniu uproszczeniem odzwierciedleniem przebiegu pracy całej stacji przerobu mas formierskich SPM-45 oraz linii odlewniczej ALF-100.80, jak i ich poszczególnych, węzłów z sygnalizacją pracy poszczególnych napędów, położenia mechanizmów, stanu wyłączników awaryjnych itp.,
- system ekranów (okien) alarmowych ze słownymi komunikatami informującymi o nieprawidłowościach pracy poszczególnych urządzeń i mechanizmów,
- system ekranów (okien) umożliwiających nastawę parametrów procesu (rys.11),
- system rejestracji zużytych materiałów.

8. System odciążu i odpylania stacji przerobu mas formierskich SPM-45 oraz automatycznej linii formierskiej ALF-100.80

System odciążu i odpylania stacji przerobu mas formierskich SPM-45 oraz automatycznej linii formierskiej ALF-100.80 charakteryzuje się:

- wysoką sprawnością instalacji odpylającej wyróżniająca się niską emisją pyłów z filtra do otoczenia,
- małą ilością odciąganego aktywnego betonu z masy formierskiej,
- niskimi kosztami wykonania instalacji odpylającej oraz jej eksploatacji przy zachowaniu wysokiej sprawności,
- możliwością recykulacji odciąganego powietrza; w okresie zimowym oczyszczone powietrze z filtrów może być kierowane z powrotem do wnętrza hali, a w okresie letnim jest odprowadzane na zewnątrz hali.

Zapyłone powietrze jest odciągane rurociągami przy pomocy wentylatorów i kierowane do filtra suchego regenerowanego impulsem sprężonego powietrza. Dzięki oczyszczeniu pulsacyjnemu następuje zrzucanie cząstek zanieczyszczeń z filtra.

Filtry suche, regenerowane impulsem sprężonego powietrza, (rys.12) dzięki zastosowaniu III stopnia odpylania (odpylanie absolutne), gwarantują emisję pyłów z filtra na poziomie maksymalnie do 1 mg/m^3 . Taki poziom zanieczyszczeń upoważnia do skierowania oczyszczonego powietrza w okresie zimowym z powrotem do wnętrza hali



Rys.12. Filtry suche regenerowane impulsem sprężonego powietrza wraz z filtrem oczyszczania absolutnego

9. Podsumowanie

Modernizacja przykładowej odlewni została dokonana z użyciem nowoczesnego wyposażenia [7]. Zainstalowane urządzenia, projektu i wykonawstwa PPP TECHNICAL charakteryzują się rozwiązaniami na bieżąco doskonalonymi w oparciu o wyniki prowadzonych badań i zebrane doświadczenia eksploatacyjne.

Odnosząc się do warunków omawianej odlewni na podkreślenie zasługuje fakt spełnienia postulatu, aby każda linia odlewnicza była zasilana indywidualnie masą. Powiązanie linii odlewniczej z linią przerobu masy pozwala stabilizować warunki wytwarzania i uzyskiwać dobre jakościowo odlewy.

Zastosowana w stacji sporządzania masy mieszarka turbinowa charakteryzuje się dużą wydajnością w pełni zabezpieczającą niezakłóconą pracę linii wytwarzania odlewów. Rozwiązania zespołów mieszarki i jej wyposażenia należą do innowacyjnych, w pełni odpowiadających standardom światowym. Budowane wg projektów TECHNICAL nowoczesne stacje przerobu mas formierskich SPM-15, SPM-30, SPM-45, SPM-60, SPM-80, SPM-90, SPM-120, SPM-200, wyposażone w mieszarki turbinowe typ MTP oraz MTI, sprawdziły się w warunkach wielu polskich i zagranicznych odlewni.

Zastosowana, w linii przygotowania masy zwrotnej, chłodziarka wibrofluidyzacyjna również charakteryzuje się innowacyjnymi rozwiązaniami. Zakres możliwych zmian parametrów jej pracy pozwala na stosowanie w różnych, zmiennych warunkach i optymalizację procesu chłodzenia. Realizacja wibracji o dobranych parametrach drgań pozwala na kontrolowany transport nawilżanej masy zwrotnej. Zakres ilości podawanego powietrza pozwala na intensywne ochłodzenie masy, a ponadto efektywne bez ubytku aktywnych, pylistych składników.

10. Literatura

- [1] Dańko J., Fedoryszyn A., Smyksy K.: Analiza wyposażenia linii przygotowania masy używanej. Materiały III Konferencji Odlewniczej TECHNICAL'2000. Nowa Sól, 2000, s. 79

-
- [2] Fedoryszyn A., Smyksy K.: Analiza pracy chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CWFm”. Biuletyn VII Konferencji Odlewniczej TECHNICAL 2004. TECHNICAL, Wydział Odlewnictwa AGH. Nowa Sól, 2004, s. 139
 - [3] Fedoryszyn A.: Linie wytwarzania odlewów w skrzynkach z krajowymi urządzeniami formierskimi. Materiały XXX Konferencji Naukowej z okazji Święta Odlewnika 2006 „Nowoczesne Technologie w Odlewnictwie”. AGH, Kraków, 2006, s. 13
 - [4] Fleming E., Lewandowski J.L.: Nowoczesne materiały formierskie z punktu widzenia racjonalnej gospodarki materiałowej. Przegląd Odlewnictwa, nr 4, 1995, s.131
 - [5] Rudy Cz., Soliński W.: Mechanizacja procesu formowania w odlewni. Materiały III Konferencji Odlewniczej TECHNICAL. Nowa Sól, 2000, s. 55
 - [6] Rudy Cz.: 10 lat produkcji maszyn i urządzeń odlewniczych w TECHNICAL. Materiały IV Konferencji Odlewniczej TECHNICAL. Nowa Sól, 2001, s. 9
 - [7] <http://www.technical.com.pl>

PODSTAWY TEORETYCZNE KONSTRUOWANIA WIRNIKOWYCH REGENERATORÓW MECHANICZNYCH O DZIAŁANIU OKRESOWYM Z SEKWENCYJNĄ ZMIANĄ PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ

Józef DAŃKO¹,
Rafał DAŃKO²

Streszczenie

Omówiono podstawy teoretyczne mechanizmu uwalniania ziaren osnowy z otoczek materiału wiążącego, czynniki wpływające na pobór mocy w regeneratorze przemysłowym związane ze średnicą misy i prędkością obrotową zespołu wirnika listwowego lub łopatkowego. Wskazano na zalety sekwencyjnego przebiegu cyklogramu obrotów silnika z punktu widzenia efektywności procesu regeneracji mechanicznej.

W oparciu o badania własne efektywności regeneracji mechanicznej w urządzeniu doświadczalnym typu wirnikowego wyznaczono wpływ prędkości obrotowej wirnika na skuteczność regeneracji określoną wartością wskaźnika W_{RK} dla danej masy zużytej.

1. Mechanizm uwalniania ziaren osnowy z otoczek zużytego materiału wiążącego

W urządzeniach wirnikowych przebieg operacji elementarnych występujących podczas regeneracji odpowiada ogólnemu schematowi procesu przedstawionemu w pracach [1-4, 6, 8-9], co pozwala wyodrębnić także składniki mocy napędu przeznaczone na: ocieranie, ścieranie i kruszenie otoczek zużytego materiału wiążącego z powierzchni ziaren, przy czym proponuje się przyjęcie następującego rozróżnienia znaczeniowego przyjętych definicji:

Ocieranie – elementarna operacja procesu regeneracji, polegająca na stopniowym zmniejszaniu się grubości otoczek materiału wiążącego, usuwanego z powierzchni ziarn pod wpływem wzajemnego, tarcowego ich oddziaływania. Ocieranie występuje w skupisku luźnych ziarn osnowy piaskowej, znajdujących się w ruchu względnym i bezpośrednio stykających się ze sobą i może przebiegać w warunkach zwiększonego tarcia wewnętrznego i zewnętrznego, wywołanego wzrostem ciśnienia w materiale sypkim pod wpływem zwiększenia jego słupa lub dodatkowego oddziaływania sił zewnętrznych, powodującego zwiększenie sił na stykach ziarn. Gdy przyłożone siły zewnętrzne powodują znaczny wzrost naprężeń stykowych w otoczkach bez zmiany charakteru ruchu względnego ziarn, wówczas ocieranie może przekształcić się w łuszczenie otoczek z powierzchni ziaren lub odspajanie.

Ścieranie – elementarna operacja procesu regeneracji, polegająca na stopniowym zmniejszaniu się grubości otoczek materiału wiążącego, usuwanego z powierzchni ziarn pod wpływem mechanicznego oddziaływania na nie elementu konstrukcyjnego maszyny. Ścieranie otoczek występuje w większych skupiskach albo na pojedynczych ziarnach osnowy piaskowej, znajdujących się w ruchu względem ruchomych lub stałych elementów roboczych maszyny, z którymi się stykają.

Kruszenie – elementarna operacja regeneracji, polegająca na skokowym zmniejszaniu się grubości otoczek materiału wiążącego na ziarnach oraz zmniejszeniu jego cząstek. Kruszenie jest wywołane naciskiem sił zewnętrznych statycznych lub dynamicznych,

¹ prof. dr hab. inż. Józef Dańko. Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Maszyn i Urządzeń Odlewniczych; jd@agh.edu.pl

² dr inż. Rafał Dańko. Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Maszyn i Urządzeń Odlewniczych; rd@agh.edu.pl

powodujących wzrost obciążeń stykowych, przekazywanych na otoczki przez ziarna osnowy. W wyniku takiego oddziaływania następuje pękanie otoczek i łamanie mostków łączących poszczególne ziarna. W ośrodku sytkim znajdującym się w ruchu, kruszenie występuje w momentach gwałtownych zmian pędu ziaren, wywołanych na przykład ich uderzaniem o odpowiednio ukształtowane elementy wirnika lub o płyty udarowe, zorientowane poziomo lub pionowo.

Identyfikacja sił czynnych, dominujących w znanych urządzeniach do regeneracji wstępnej i właściwej typu wirnikowego pozwala wskazać na intensywne mechaniczne oddziaływanie sił tarcia ziaren osnowy o siebie i o elementy konstrukcyjne urządzenia w warunkach prowadzenia procesu w temperaturze: otoczenia, podwyższonej lub ekstremalnie niskiej (kriogenicznej), jako na podstawowy czynnik prowadzący do rozdrabniania zrostków ziaren i uwalniania osnowy z otoczek zużytego materiału wiążącego:

2. Model procesu uwalniania osnowy z otoczek zużytego materiału wiążącego podczas regeneracji mechanicznej suchej

W celu uwolnienia powierzchni ziaren z otoczek materiał wiążącego, jest konieczne wykonanie pracy, równej co do wartości pracy sił adhezji, a w przypadku zmniejszania wymiarów zrostów (zlepków) ziaren, występującymi na przykład podczas kruszenia zrostków masy, a także samej osnowy – także przeciwko siłom kohezji. Można zatem napisać, że całkowita praca regeneracji, w odniesieniu do pojedynczych ziaren masy zużytej jest równa:

$$\Sigma A = A_{adh} + A_{koh} + A_z ; J \quad (1)$$

I.B. Zajgerow [5] podjął próbę przeniesienia zależności znanych z teorii kruszenia do opisu procesu regeneracji suchej mechanicznej i pneumatycznej, przy uwzględnieniu podstawowych czynników determinujących jego przebieg. Jakość połączenia otoczek z powierzchnią ziaren piasku jest zależna od sił adhezyjnych, natomiast wzajemne powiązanie molekuł samego spoiwa determinują siły kohezyjne.

Praca sił adhezji odniesiona do powierzchni pojedynczego ziarna wynosi:

$$A_{adh} = \sigma_{adh} \cdot F_z = \frac{\sigma_{adh} \cdot \pi \cdot d_z^2}{4} ; J , \quad (2)$$

gdzie: σ_{adh} – jednostkowa praca adhezji; J/m²,

F_z – powierzchnia ziarna kulistego o średnicy d_z ; m.

Zakładając, że praca ścierania powinna zapewnić pokonanie wiązań adhezyjnych można obliczyć niezbędną prędkość względną cząstki oraz wirującego elementu udarowo-ścierającego wirnika (poziomy pręt, listwa, tarcza z wycięciami lub występami) zakładając, że praca ta jest wykonywana przez siłę tarcia F_T równą iloczynowi siły naporu dynamicznego cząstki P_d oraz współczynnika tarcia f_1 . Równanie równowagi pracy ścierania i pracy adhezji ma postać:

$$F_T \cdot L \cdot i = P_d \cdot f_1 \cdot L \cdot i \cdot m = \sigma_{adh} \cdot F_z ; \rho_z \cdot u_z^2 \cdot F_z \cdot f_i \cdot L \cdot i \cdot m = \sigma_{adh} \cdot F_z , \quad (3)$$

Po obustronnym podzieleniu przez F_z wzór ma końcową postać

$$\rho_z \cdot u_z^2 \cdot f_i \cdot L \cdot i \cdot m = \sigma_{adh} , \quad (4)$$

gdzie: $F_T = P_d \cdot f_1$ – siła tarcia cząstki o element udarowo-ścierający; N,

P_d – siła naporu dynamicznego cząstki na element udarowo-ścierający; N,

f_1 – współczynnik tarcia,

L – długość drogi tarcia; m,
 i – liczba elementów udarowo-ścierających w jednym rzędzie,
 m – liczba rzędów elementów udarowo-ścierających.

Konieczna dla regeneracji prędkość ruchu cząstek względem elementu udarowo-ścierającego, (lub wymagana prędkość elementu względem nieruchomej, regenerowanej cząstki) wynosi:

$$u_z = \sqrt{\frac{\sigma_{adh}}{\rho_z \cdot f_1 \cdot L \cdot i \cdot m}} \quad (5)$$

Ilość cykli ścierania przy zadanej prędkości cząstek udaru cząstek o element udarowo-ścierający oraz znanej liczbie rzędów tych elementów, otrzymuje się przez przekształcenie wzoru (3):

$$i = \frac{\sigma_{adh}}{\rho_z \cdot u_z^2 \cdot f_1 \cdot L \cdot m} \quad (6)$$

Obliczona prędkość względna u_z zmienia się liniowo na długości ramienia elementu udarowo-ścierającego. Należy zatem obliczoną wartość traktować jako średnią, co oznacza że reprezentuje ona prędkość zaczepioną w połowie długości elementu udarowo-ścierającego. Pracę zużywaną na rozdrobnienie zrostków ziaren można wyrazić wzorem:

$$A_{koh} = \frac{\sigma_{koh}^2}{2 \cdot E} \cdot V_1 ; \quad J, \quad (7)$$

gdzie: V_1 – objętość zrostków ziaren, podlegających rozkruszaniu; m^3 ,

$\frac{\sigma_{koh}^2}{2 \cdot E}$ – praca deformacji przypadająca na $1 m^3$ rozdrobnionego materiału; J/m^3 ,

σ_{koh} – zakres wytrzymałości błonek materiału wiążącego; Pa,

E – moduł sprężystości utwardzonej otoczki materiału wiążącego; Pa.

Gdy znana jest ilość niezbędnych podziałów zbrylonej masy dla uzyskania założonego rozmiaru cząstek, odpowiadającego średniej wielkości osnowy, wówczas pracę zużywaną na rozdrobnienie obliczyć można ze wzoru:

$$A_{koh} = 3 \cdot a \cdot \frac{\sigma_{koh}^2}{2 \cdot E} \cdot V_{zr} ; \quad J, \quad (8)$$

gdzie: V_{zr} – objętość zrostków ziaren; m^3 ,

a – liczba płaszczyzn podziału.

Ilość powierzchni podziału można orientacyjnie określić na podstawie procesu przesiewania na sitach. Jeżeli sito przepuszcza zrostki o umownym wymiarze boku równym D_z , wówczas dla uzyskania rozdrobnienia do średnicy ziarna równej d_z należy zrealizować ilość podziałów równą:

$$a = \frac{D_z}{d_z} - 1. \quad (9)$$

Gdy udział cząstek już rozdrobnionych przed procesem regeneracji do średnicy d_z w ogólnej ilości masy poddanej do regeneracji wynosi $\varphi = V_z/V_{zr}$, wówczas energia konieczna do rozdrobnienia zrostków wynosi:

$$A_{koh} = 3 \cdot \left(\frac{D_z}{d_z} - 1 \right) \cdot \frac{\sigma_{koh}^2}{2 \cdot E} \cdot V_{zr} \cdot (1 - \varphi); \quad J. \quad (10)$$

W procesie regeneracji może następować niszczenie również ziaren osnowy, które ma miejsce wówczas, gdy łączna wytrzymałość połączenia ziarno-otoczka-ziarno ma wartość większą niż wytrzymałość samego ziarna. W tym przypadku pracę niezbędną do zniszczenia ziarna można także obliczyć, korzystając z zależności analogicznej do (7):

$$A_z = 3 \cdot a \cdot \frac{\sigma_z^2}{2 \cdot E_z} \cdot V_z; \quad J, \quad (11)$$

gdzie: σ_z, E_z – przedział wytrzymałości i moduł sprężystości ziaren kwarcu, Pa,
 V_z – objętość ziarna podlegającego deformacji, m³.

Aby nastąpiło rozkruszanie zrostów ziaren masy przy zachowaniu osnowy piaskowej w stanie nienaruszonym, teoretycznie jest wymagane spełnienie następujących warunków, związanych z wytrzymałością osnowy:

$$u_{kryt} = \sigma_z \cdot \sqrt{3 \cdot a \cdot \frac{1}{\rho_z \cdot E_z}}, \quad (12)$$

$$u_{koh} = \sigma_{koh} \cdot \sqrt{3 \cdot a \cdot \frac{1}{\rho_z \cdot E_z}}.$$

Jest oczywiste, że wyznaczona wartość pracy może być traktowana jako granica, której przekroczenie rodzi negatywne skutki w postaci nieuzasadnionego zmniejszenia uzysku regeneracji oraz straty energii i materiału.

3. Eksperymentalnie wyznaczona praca regeneracji ΣAR

W ramach badań własnych [4], korzystając z opracowanego modelu teoretycznego bazującego na hipotezie Rittingera [10] określono eksperymentalnie sumaryczne składniki pracy zużywanej w procesie regeneracji suchej w mechanicznym regeneratorsze wirnikowym.

Jak wynika z badań [4] regeneracja wstępna wymaga użycia porównywalnej lub większej pracy od koniecznej do realizacji regeneracji właściwej. Wynika stąd uwaga, że przygotowanie masy i prawidłowo przeprowadzona regeneracja wstępna w znacznym stopniu determinuje całkowity efekt regeneracji. Analiza danych zawartych w **tabeli 1** wskazuje, że największa obliczona wartość pracy regeneracji właściwej występuje dla masy zużytej z bentonitem (B), następnie dla masy zużytej (S) z technologii floster i kolejno dla masy (Ż) z żywicą FL 105.

Tabela 1. Praca regeneracji wstępnej, właściwej i całkowitej obliczona na podstawie zmodyfikowanego modelu Rittingera [10] dla ziarna regeneratu o charakterystycznej średnicy d_a [4].

REGENERACJA MECHANICZNA (RM) Rodzaj regenerowanej masy zużytej	Praca regeneracji ΣA		
	Wstępnej ΣA_{RP}	Właściwej ΣA_{RW}	Całkowitej ΣA_R
	[J/kg]	[J/kg]	[J/kg]
Masa (B) zużyta z bentonitem	70,66	71,46	142,12
Masa (S) zużyta z technologii floster	61,52	52,13	113,65
Masa (Ż) zużyta z żywicą	65,85	30,79	96,64

Uwzględnienie ilości potencjalnej (w oparciu o początkowy skład) materiału wiążącego, usuwanego z powierzchni ziaren osnowy, stwarza nową możliwość szeregowania mas oraz sposobów ich obróbki regeneracyjnej w szeregu zależności od energochłonności procesu regeneracji. Potwierdzają to wyniki obliczeń pracy regeneracji właściwej, wydatkowanej na usunięcie 1% zużytego materiału wiążącego, zamieszczone w tabeli 2. Ten sposób, uzupełniający znane dotychczas próby określenia regenerowalności, jest ważny z punktu widzenia ekonomiki procesu odzysku osnowy z zużytej masy formierskiej.

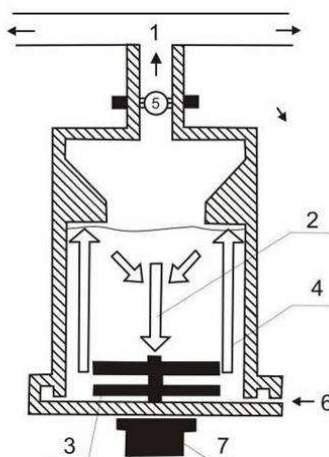
Tabela 2. Praca regeneracji właściwej obliczona na podstawie zmodyfikowanego modelu Rittingera [10] w przeliczeniu na 1% usuwanego zużytego materiału wiążącego [4].

REGENERACJA MECHANICZNA (RM) Rodzaj masy zużytej – sposób regeneracji	Praca regeneracji właściwej odniesiona do ilości materiału wiążącego $\Sigma A_{RW} / 1\%$
	[J/(kg x 1%)]
Masa zużyta (B) z bentonitem	8,97
Masa zużyta (S) ze szkłem wodnym	14,90
Masa zużyta (Z) z żywicą FL 105	18,11

4. Typowe rozwiązania regeneratorów wirnikowych, prętowo – udarowych i łopatkowych o działaniu okresowym

4. 1. Regenerator mechaniczny, wirnikowy firmy VOGEL-SCHEMMANN AG z sekwencyjną zmianą prędkości obrotowej.

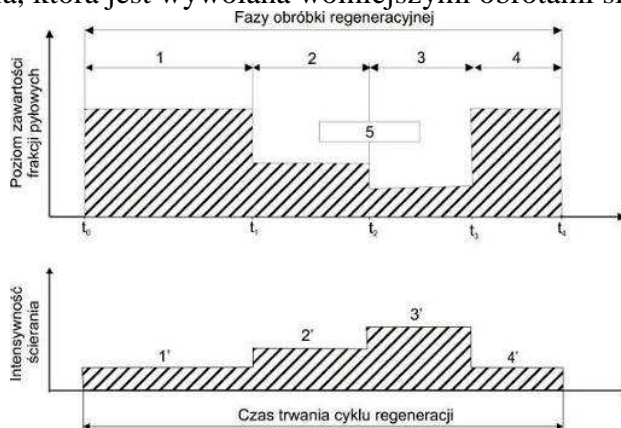
W publikacji [11] przedstawiono opis regeneratora mechanicznego, wirnikowego firmy VOGEL-SCHEMMANN AG o działaniu okresowym do regeneracji zużytej masy z bentonitem i odzysku bentonitu (rys. 1). Charakterystyczną cechą regeneratora jest programowana sekwencja zmian prędkości obrotowej wirnika, co przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Schemat regeneratora mechanicznego wirnikowego dwurzędowego firmy VOGEL-SCHEMMANN AG (według koncepcji D. Boenisha [6, 7, 11]): 1 – selektywne oddzielenie frakcji pyłowych, 2 – ścieranie otoczek spoiwa, 3 – wirnik z elementami ściernymi, 4 – odpylanie w złożu fluidalnym, 5 – optyczny system pomiaru stopnia zapylenia powietrza, 6 – sprężone powietrze, 7 – silnik napędu wirnika.

Odzysk obu dodatków do masy następuje w pierwszej fazie regeneracji, charakteryzującej się połączeniem przedmuchiwaną powietrzem masy zużytej przy stosunkowo małej intensywności obróbki regeneracyjnej (odcinki 1 i 1'), która jest

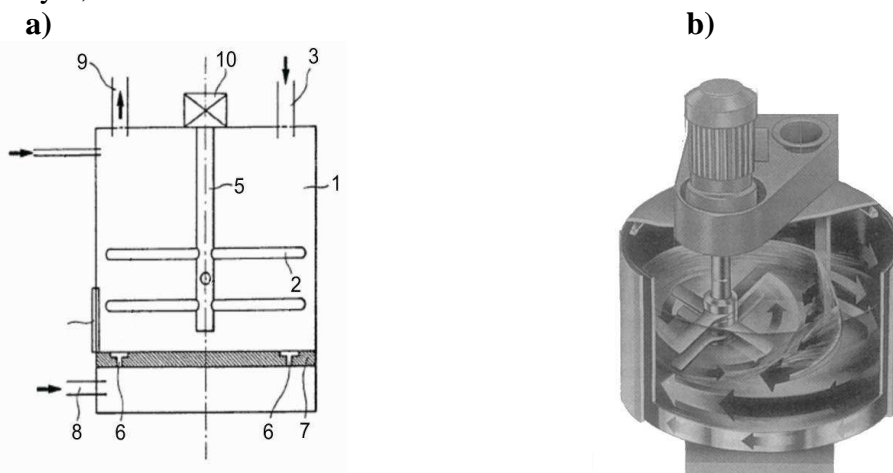
determinowana głównie przez ilość obrotów wirnika z tarczami ściernymi. Czynnikiem rozgraniczającym i sterującym włączenie lub wyłączenie poszczególnych prędkości obrotowych wirnika jest amplituda sygnału elektrycznego z układu optyczno-elektronicznego mierzącego stopień zapylenia powietrza odciganego z regeneratora. Faza intensywnej regeneracji ma dwa poziomy intensywności (odcinki: 2 (2') i 3 (3')), uzyskiwane w oparciu o odpowiednie nastawy wartości sygnału sterującego prędkością obrotową silnika. Faza końcowa regeneracji (odcinek 4 (4')) obejmuje ścieranie pozostałości otoczek spoiwa oraz odpylenie regeneratu, realizowane przy ponownie małej intensywności ścierania, która jest wywołana wolniejszymi obrotami silnika.



Rys. 2. Przykładowy diagram poziomu zawartości frakcji pyłowych w poszczególnych fazach obróbki regeneracyjnej (u góry) oraz intensywności ścierania zależnej od prędkości obrotowej wirnika (u dołu). Oznaczenia: 1, 1' – oddzielenie większych frakcji pyłowych, 2, 2' – słabe ścieranie, 3, 3' – silne ścieranie, 4, 4' – ścieranie pozostałości otoczek spoiwa, [6, 7].

4. 2. Regenerator wirnikowo-prętowy firmy POHL (Niemcy) do regeneracji mas zużytych ze szkłem wodnym

Kolejnym przykładem regeneratorów mechanicznych wirnikowych jest urządzenie wirnikowe firmy POHL o elementach typu rozdrabniająco-ścierającego, wykonanych w postaci zespołu poziomych prętów uderowych lub łopatkowych. Rozwiązania tego typu stosuje się do regeneracji zużytych mas ze szkłem wodnym. Są to urządzenia o działaniu okresowym,



Rys. 3. Regenerator wirnikowo-prętowy: a) - firmy POHL: 1 – komora regeneratora, 2 – zespół uderowo ścierny, 3 – zasyp masy zużytej, 4 – wysyp regeneratu, 5 – wał zespołu uderowo-ściernego, 6 – dysze powietrzne, 7 – płyta pośrednia, 8 – powietrze do fluidyzacji, 9 – odciąg pyłów i drobnych frakcji, 10 – silnik napędowy, b) – widok regeneratora wirnikowego z łopatkowymi elementami krusząco-ścierającymi [8, 9].

Masa zużyta poddana procesowi odzysku jest poprzez zasyp (3) dostarczana do komory regeneratora (1). Dostarczanie powietrza od dołu regenerowanego słupa masy przez dysze powietrzne (6) wymusza fluidyzacyjne ocieranie ziaren w złożu, co w połączeniu z poziomym ruchem zespołu udarowo-ściernego powoduje intensywne zjawiska regeneracyjne (kruszenie, ścieranie, ocieranie) ziaren masy zużytej. Starty z powierzchni ziaren osnowy zużyty materiał wiążący jest odciągany przez otwór (9). Czas regeneracji osnowy z mas zużytych ze szkłem wodnym podlega regulacji w zależności od wymaganego stopnia oczyszczenia osnowy. Regeneratory tego typu mogą stwarzać możliwość odzysku osnowy z mas zużytych w małych odlewniach.

5. Wytyczne do obliczania mocy napędu zespołu wirnika oraz lemieszki kierujących strumień obrabianej masy

Podstawę teoretyczną stanowią zależności służące do obliczenia sumarycznej pracy według wzoru (1). Jednak brak niektórych danych występujących w podanych wzorach skłania do zastosowania metody empiryczno-analitycznej, w której można wykorzystać informacje uzyskane w ramach prac własnych [3, 4].

Moc pobieraną na ruch obrotowy zespołu wirnika, a także pracę lemieszki kierujących strumień masy i zamocowanych na pobocznicy miski regeneratora oblicza się analogicznie według zasady wyrażonej wzorami:

- dla **wirnika** usytuowanego centralnie o liczbie i_{wir} oraz długości ramion $l_{wir} = 0,5 D_R$

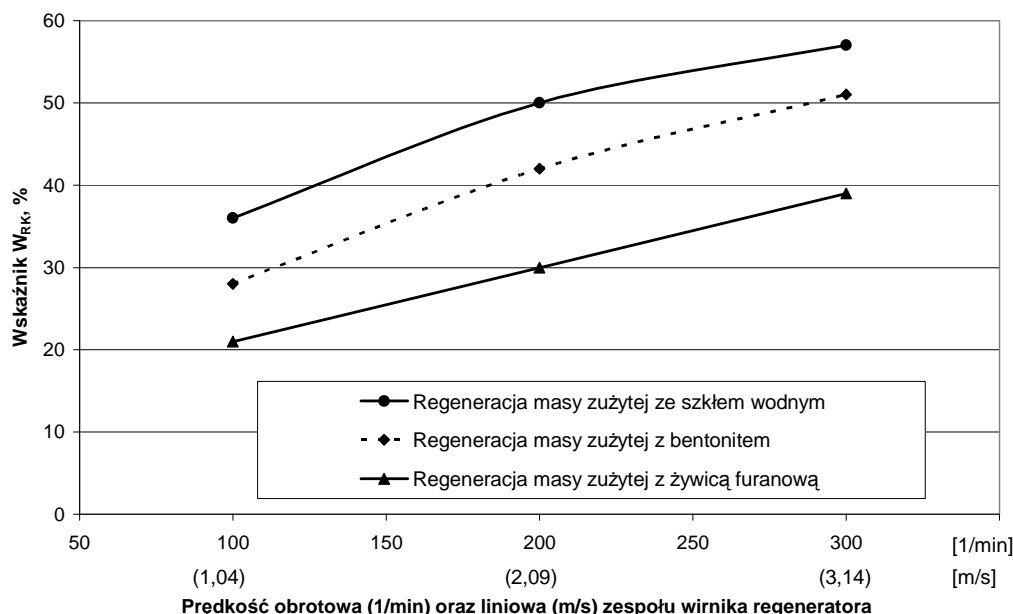
$$N_{wir} = \rho_m \cdot u_{wir}^3 \cdot i_{wir} \cdot \psi \cdot \frac{2 \cdot V_m}{\pi \cdot D_R} \cdot \sin \alpha_{wir} ; W \quad (13)$$

- dla **lemieszki** kierujących strumień regenerowanej masy o długości ramion l_{lem}

$$N_{lem} = \rho_m \cdot u_{lem}^3 \cdot i_{lem} \cdot \theta \cdot \frac{2 \cdot V_m}{\pi \cdot D_R} \cdot \sin \alpha_{lem} ; W \quad (14)$$

gdzie: $\rho_m = \text{ok. } 1400 \text{ kg/m}^3$ – gęstość usypowa suchej zużytej masy formierskiej,
 u_{wir} – prędkość liniowa ruchu względem masy w połowie długości ramion wirnika; m/s,
 u_{lem} – prędkość względna ruchu masy w stosunku do lemieszki; m/s,
 i_{wir} – liczba ramion wirnika w jednym rzędzie; szt.,
 i_{lem} – liczba lemieszki kierujących masę; szt.,
 V_m – użyteczna pojemność miski regeneratora; m^3 ,
 α_{wir} – kąt nachylenia powierzchni roboczej wirnika do płaszczyzny poziomej,
 α_{lem} – kąt nachylenia powierzchni roboczej lemieszki kierującego do płaszczyzny poziomej,
 $\psi = 0,5$ - współczynnik wskazujący na stosunek szerokości łopatki wirnika do wysokości słupa masy w misce regeneratora
 $\theta = 0,9-1,0$ - współczynnik wskazujący na stosunek szerokości lemieszki kierującego do wysokości słupa masy,
 D_R – średnica miski regeneratora, m.

Dane przedstawione na **rysunku 4** pozwalają stwierdzić, że dla uzyskania akceptowalnego technologicznie poziomu uwolnienia osnowy z otoczek zużytego materiału wiążącego (wskaźnik W_{RK}), prędkość liniowa w połowie długości łopatki powinna wynosić 2-3 m/s.



Rys. 4. Zależność wskaźnika uwolnienia ziaren osnowy od otoczek zużytego materiału wiążącego W_{RK} od prędkości obrotowej wirnika oraz prędkości liniowej na końcu łopatki o długości ramienia $l_{wir} = 0,1$ m [4].

Ostatecznie moc, konieczną do napędu zespołu mechanicznego regeneratora określa wzór:

$$N_{cał.} = \frac{k_z \cdot (N_{wir} \cdot + \cdot N_{lem})}{700 \cdot \eta} ; \text{ kW} \quad (15)$$

gdzie: $N_j = 0.3 N_{cał.}$ – moc biegu jałowego; W ,
 $k_z = 1,1 - 1,3$ – współczynnik zapasu mocy,
 $\eta = 0,8 - 0,9$ – sprawność układu przeniesienia napędu.

Dla celów praktycznych, gdy planowana jest sekwencyjna zmiana prędkości obrotowej np. przez odpowiednie zaprogramowanie sterownika przemiennika częstotliwości (falownika) interesująca jest zmiana poboru mocy silnika przy określonej zmianie jego prędkości obrotowej.

Dla niezmiennych wymiarów konstrukcyjnych zespołu napędowego i miski regeneratora zmiana prędkości obrotowej wirnika z wartości n_1 do wartości n_2 powoduje zmianę obciążenia z wartości $N_{1cał.}$ do $N_{2cał.}$ według wzoru:

$$\frac{N_{1cał.}}{N_{2cał.}} = \left(\frac{n_{1wir}}{n_{2wir}} \right)^3 \quad \text{stąd} \quad N_{2cał.} = N_{1cał.} \cdot \left(\frac{n_{2wir}}{n_{1wir}} \right)^3 \quad (16)$$

Analiza rozwiązań regeneratorów różnego typu [12] wskazuje na znaczne zróżnicowanie wskaźnika reprezentującego ilość mocy [kW] wymaganej do regeneracji 1 tony masy zużytej. Najbardziej ekonomiczne są pod tym względem urządzenia wibracyjne. Można przykładowo podać, że znane regeneratory wibracyjne Vibrader typu HD firmy Richards mają wartość wskaźnika mieszczącą się w przedziale 0,62-0,8 kW/t. Urządzenia wibracyjne GammaMill typu GM – 1,0 -1,85 kW/t. Regeneratory wibracyjne firmy Vulcan Europe (IMF) – 2-4 kW/t. Krajowy regenerator odśrodkowy RTL-10 – 1,0 kW/t. Małe regeneratory produkcji japońskiej 3- 7 kW/t. Najmniej ekonomiczne są regeneratory pneumatyczne, dla których wartość omawianego wskaźnika wynosi od 15

do 20 kW/t.(regeneratory typu Proclaim). Regeneratory ciepłe: część pneumatyczna 6-10 kW/t oraz dodatkowo 20-30 Nm³ gazu na 1 tonę regeneratu.

Obliczenia mocy napędu przeprowadzone zgodnie z opisanym wyżej algorytmem obliczeń dla wirnikowego regeneratora mechanicznego o działaniu okresowym, dla cyklu regeneracji równego 10 minut dają wydajność około 4 t/h regeneratu przy zapotrzebowaniu mocy $N_{\text{całk}} = 17,2$ kW, zatem wartość omawianego wskaźnika wynosi 4,3 kW/t, co stawia go w rzędzie urządzeń relatywnie ekonomicznych.

6. Podsumowanie

Przedstawione podstawy teoretyczne mechanizmu uwalniania ziaren osnowy z otoczek materiału wiążącego pozwalają na określenie pracy, niezbędnej do uwolnienia osnowy z otoczek zużytego materiału wiążącego. Dla potrzeb praktycznych przytoczono wyniki badań własnych efektywności regeneracji mechanicznej w urządzeniu doświadczalnym typu wirnikowego, na podstawie których można wyznaczyć wpływ prędkości obrotowej wirnika na skuteczność regeneracji określoną wartością wskaźnika W_{RK} dla danej masy zużytej.

W części podającej wytyczne do obliczania mocy napędu zespołu wirnika oraz lemieszki kierujących strumień obrabianej masy zidentyfikowano czynniki wpływające na pobór mocy w regeneratorze przemysłowym związane ze średnicą miski, prędkością obrotową zespołu wirnika oraz lemieszki, za pomocą których dokonuje się właściwej cyrkulacji obrabianego strumienia masy. Wskazano na konsekwencje związane z poborem mocy w przypadku zmiany prędkości obrotowej zespołu wirnika, co jest konieczne w przypadku sekwencyjnego przebiegu cyklogramu obrotów silnika, stosowanego w celu zwiększenia efektywności procesu regeneracji mechanicznej.

Rozwiązania regeneratorów mechanicznych o względnie prostej konstrukcji, w których występuje intensywne ścieranie i ocieranie, jako główne czynniki prowadzące do uwolnienia powierzchni ziaren osnowy z otoczek materiału wiążącego wymagają stosowania trudnościeralnych materiałów konstrukcyjnych na łopatki, lemieszki i powierzchnie robocze. Niezależnie od tego elementy o zwiększonym zużyciu powinny być wykonane jako szybko wymienne, analogicznie jak to ma miejsce w rozwiązaniach nowoczesnych mieszarek czy mieszarko-nasypywarek

Badania zrealizowano w ramach pracy własnej AGH, nr 10.10.170.298

Literatura

1. Bodzon L., Dańko J., Żurawski L.: Elements of the process of waste sand dry reclamation. Archives of Metallurgy, vol. 34, issue 3, 1989, pp. 405 – 416.
2. Dańko J., Holzer M., Dańko R.: Reclamation of used foundry sands – study of scientific problems and development research. Research in metallurgy at the beginning of XXI century. Committee of Metallurgy of the Polish Academy of Sciences. Wyd. „AKAPIT”, Kraków 2006, ISBN 83-910159-3-9, s. 219-237.
3. Łucarz M.: Opracowanie podstaw konstrukcji odśrodkowych regeneratorów mas formierskich. Praca doktorska, WO AGH, Kraków 1996.
4. Dańko R.: Podstawy teoretyczne i technologiczne doboru optymalnych sposobów regeneracji suchej zużytych mas odlewniczych. Rozprawa doktorska. Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków 2006.
5. Zajgerov I. B.: Mašiny i avtomatizacia litejnogo proizvodstva. Izdat. „Vyšeišaja Škola”, Minsk 1969.
6. Boenisch D.: Reclamation of Spent Sand Containing Bentonite- Guidelines for an Economical Process Leading to Minimized Waste. Giesserei 77, 1990, No 19, 17 Sept. pp. 602-609.

-
7. Boenisch D.: Verfahren und Vorrichtung zum Regenerieren von Giessereisand. Patent niemiecki nr 4212097, 1992.
 8. Pohl P.: Beispiele zur Regenerierung von Gesereialtsanden. Giesserei 7, nr 21, 1990.
 9. Polzin H., Nitsch U., Tilch W., Flemming E.: Regenerierung anorganisch gebundener Altsande mit einer mechanisch arbeitender Pilotanlage. Gieserei-Praxis nr 23/24, 1997, s. 500-507.
 10. Rittinger P.: Lehrbuch der Aufbereitungskunde. Ernst und Korn Berlin 1867.
 11. Dańko J., Dańko R., Fedoryszyn A.: Charakterystyka funkcjonalna urządzeń do typowych metod regeneracji mas zużytych. Materiały IX Konferencji Odlewniczej TECHNICAL 2006 „Odlewnictwo XXI wieku –technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze”, Nowa Sól 8-9.06.2006, s. 73-81.
 12. Dańko J., Dańko R., Łucarz M.: Procesy i urządzenia do regeneracji osnowy zużytych mas formierskich. Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, ISBN 978-83-89541-88-8, Kraków 2007, stron 291.

PORÓWNAWCZE BADANIA REGENERACJI ZUŻYTYCH MAS Z BENTONITEM W WYBRANYCH SYSTEMACH REGENERACJI

Rafał DAŃKO¹

Streszczenie

W artykule przedstawiono syntezę badań porównawczych procesu regeneracji mechanicznej-ściernej, mechaniczno-kriogenicznej oraz mokrej, zużytych mas z bentonitem prowadzonych na Wydziale Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Przedstawiono opis stanowisk doświadczalnych, metodę badań oraz uzyskane wyniki.

1. Wstęp

Regeneracja zużytych mas formierskich jako metoda recyklingu odpadów własnych odlewni, pochodzących z cyklu produkcyjnego odlewu, stanowi bardzo istotne zagadnienie dla każdego zakładu odlewniczego związane przede wszystkim z ochroną środowiska naturalnego, lecz również z racjonalnym prowadzeniem gospodarki materiałowej.

Mniejsze zainteresowanie regeneracją zużytych mas z bentonitem wynika po części z przekonania o ich małej szkodliwości, w tym także o możliwości łatwej utylizacji masy zużytej jako odpowiedniego materiału służącego za przesypkę na wysypiskach śmieci. Badania J. L. Lewandowskiego i innych [1], przeprowadzone w ostatnich latach, wskazują jednak na bardzo wysoką zawartość węglowodorów aromatycznych (WWA) w tych masach, które powstają podczas oddziaływania ciekłego metalu na nośnik węgla błyszczącego, stanowiącego jeden ze składników tych mas. Uwalnianie osnowy zużytych mas z bentonitem ze zużytego lepiszcza, do poziomu czystości umożliwiającego zastąpienie regeneratem świeżego piasku w masach rdzeniowych, wymaga relatywnie kompleksowych, często wielostopniowych systemów regeneracji, jak na przykład w instalacjach firmy FATA, czy GEORG FISHER [2].

Najbardziej skuteczną metodą regeneracji zużytej masy z bentonitem jest regeneracja mokra, obecnie całkowicie zaniechana w Polsce ze względu na uciążliwość jej prowadzenia oraz bardzo wysokie koszty. Aktualnie stosuje się regenerację mechaniczną tych mas w urządzeniach realizujących połączone procesy ścierania, ocierania i kruszenia. Ograniczona efektywność klasycznej regeneracji mechanicznej masy zużytej, skłania do stałego poszukiwania nowych, bardziej intensywnych procesów mających na celu poprawę efektów prowadzonej obróbki regeneracyjnej.

W prezentowanych dalej badaniach jako czynnik intensyfikujący proces regeneracji mechanicznej regenerowanej masy zużytej zastosowano chłodzenie do bardzo niskiej temperatury, uzyskane przez dodanie do masy określonej ilości ciekłego azotu.

Przyjęto, hipotetycznie, że znaczne obniżenie temperatury, w której odbywa się proces regeneracji mechanicznej powinno doprowadzić do zmniejszenia siły wiązania w układzie: osnowa ziarnowa - otoczka lepiszcza. W konsekwencji powinna ulec zwiększeniu zdolność do regeneracji (regenerowalność) testowanej masy zużytej, pozwalając na lepsze

¹ dr inż. Rafał Dańko. Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Maszyn i Urządzeń Odlewniczych; rd@agh.edu.pl

uwolnienie osnowy z otoczek zużytego materiału wiążącego w porównaniu z obróbką mechaniczną prowadzoną w temperaturze otoczenia.

2. Stanowiska doświadczalne

2.1. Stanowisko doświadczalne do badań regeneracji mechanicznej i mechaniczno-kriogenicznej

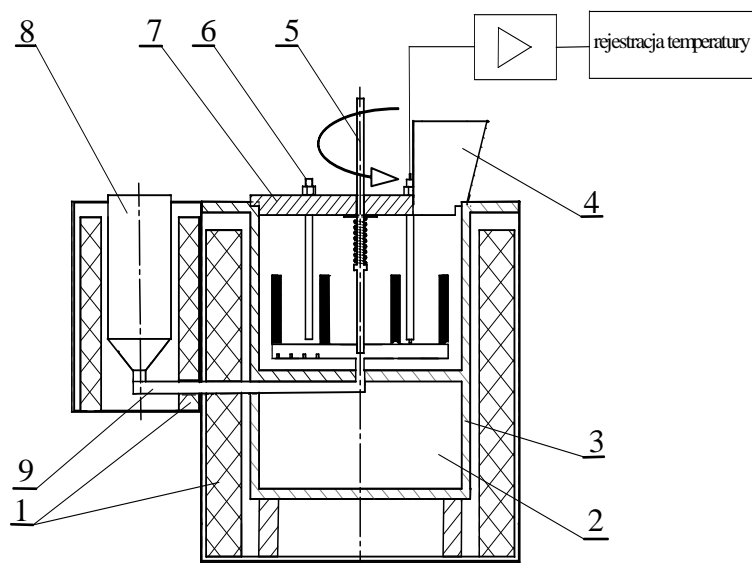
Stanowisko doświadczalne przedstawione schematycznie na **rysunku 1** jest modelem redukcyjnym jednej z odmian regeneratora mechanicznego, wyposażonego w wirujące elementy ściernie. Regenerator doświadczalny pozwala na realizację obróbki regeneracyjnej z zastosowaniem, lub bez użycia ciekłego azotu jako czynnika chłodzącego. W tym celu został on wyposażony w układ dozowania ciekłego azotu do prowadzenia regeneracji w warunkach znacznie obniżonej temperatury.

Masa zużyta, znajdująca się w komorze regeneratora (3), jest poddana obróbce regeneracyjnej za pomocą wirnikowego zespołu ścierno-udarowego (5), którego prędkość obrotową można płynnie zmieniać w szerokim zakresie wartości od 100 do 300 obrotów na minutę.

W wersji stanowiska do regeneracji mechaniczno-kriogenicznej stosuje się ręczne dozowanie azotu z naczynia o znanej objętości. Pomiar temperatury realizuje się przy użyciu czujnika PT 100, typ TP-382, klasa B według DIN IEC 751, o zakresie pomiarowym $-100 \div 400^{\circ}\text{C}$ i czułości $\Delta T/K = \pm (0,3 + 0,005 |t^{\circ}\text{C}|)$. Czujnik wprowadzono do masy poprzez jeden z prętów udarowych i połączono, przez kartę A/C, z komputerem osobistym PC. Największa częstotliwość zapisu temperatury wynosi 0,1 sekundy, a błąd pomiaru temperatury około 0,2% mierzonej wartości.

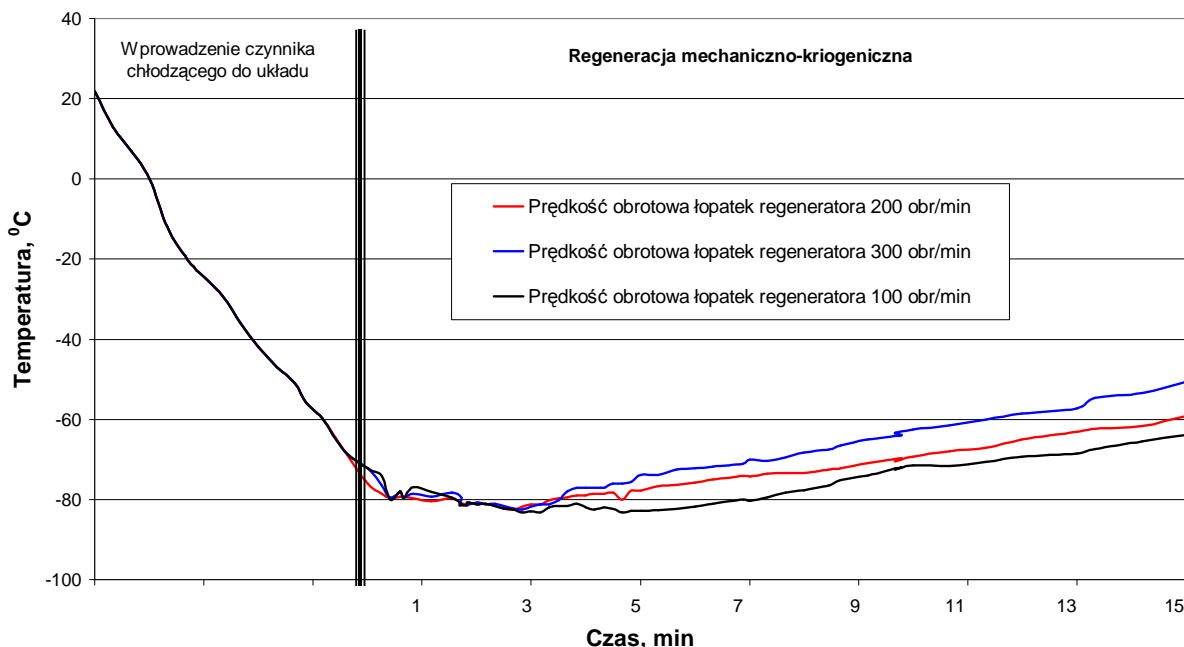
Czujnik temperatury, umieszczony na dnie zbiornika masy, pozwala na bieżąco mierzyć temperaturę regenerowanej masy zużytej.

Można zauważyć, że możliwość prowadzenia klasycznej regeneracji mechanicznej (atrycyjnej), lub kombinacji tej regeneracji z niskotemperaturową (kriogeniczną), realizowanych w tym samym urządzeniu, pozwala na najbardziej miarodajną analizę porównawczą efektów regeneracji uzyskanych w obu przypadkach.



Rys. 1. Schemat doświadczonego regeneratora wirnikowego do regeneracji mechanicznej oraz mechaniczno-kriogenicznej: 1 – obudowa z warstwą izolacyjną, 2 – komora powietrzna, 3 – komora regeneratora, 4 – wysyp masy, 5 – wirnik zespołu ścierno-kruszącego, 6 – elementy udarowe, 7 – pokrywa, 8 – zbiornik azotu, 9 – podajnik azotu [3]

Typowe przebiegi temperatury regenerowanego złoza w funkcji czasu obróbki regeneracyjnej przedstawiono na **rysunku 2** natomiast w **tabeli 1** zamieszczono średnie wartości temperatury, w której prowadzono regenerację przy danej prędkości obrotowej zespołu wirnikowego.



Rys. 2. Typowe przebiegi temperatury masy zużytej w funkcji czasu w urządzeniu do regeneracji mechaniczno-kriogenicznej w zakresie temperatury obróbki od -80°C do -60°C

Tabela 1. Średnia temperatura obróbki regeneracyjnej mechaniczno-kriogenicznej badanych rodzajów masy zużytej

Czas regeneracji [min]	Średnia temperatura regeneracji $^{\circ}\text{C}$		
	Prędkość obrotowa wirnika 100 obr/min	Prędkość obrotowa wirnika 200 obr/min	Prędkość obrotowa wirnika 300 obr/min
1	-78,24	-79,13	-77,72
3	-80,41	-80,42	-79,30
5	-81,05	-77,85	-78,58
10	-79,51	-75,17	-73,74
15	-75,84	-72,22	-68,27

Na podstawie przedstawionych przebiegów temperatury można stwierdzić, że zwiększenie prędkości obrotowej zespołu wirnikowego regeneratora i czasu obróbki regeneracyjnej wpływa na nieznaczny wzrost średniej temperatury regeneracji masy zużytej. Jest to związane z przejmowaniem i akumulowaniem, przez regenerowaną masę, ciepła pochodzącego od elementów roboczych urządzenia, a także z zamianą na ciepło pracy tarcia wirnika o masę. Przedstawione przebiegi temperatury w badanym sposobie

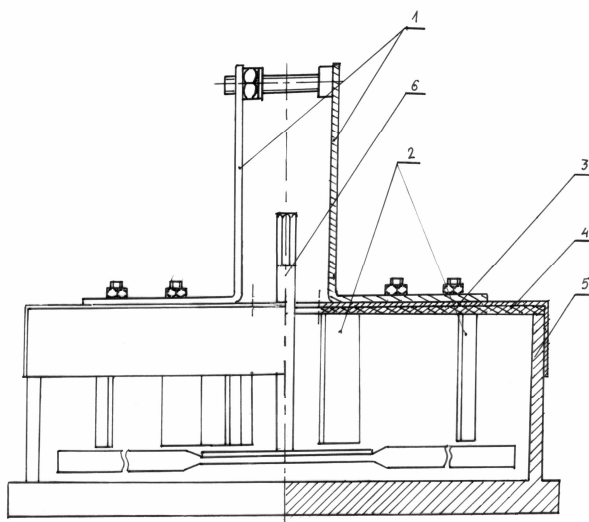
regeneracji były bardzo zbliżone dla wszystkich rodzajów masy zużytej i we wszystkich rozpatrywanych przypadkach mieściły się w przedziale od -70°C do -80°C .

2.2. Stanowisko doświadczalne do badań regeneracji mokrej

Badania regeneracji mokrej przeprowadzono w ograniczonym zakresie, głównie dla celów porównawczych. Schemat wykonanego zespołu do obróbki regeneracyjnej w środowisku wodnym przedstawiono na **rysunku 3**.

Zużyta masa poddawano moczeniu, dezintegracji oraz intensywnemu ocieraniu w środowisku wodnym w zbiorniku 5 regeneratora. Do obróbki regeneracyjnej zastosowano dezintegrator łopatkowy o prędkości obrotowej $n = 300$ obrotów na minutę.

W badanym zespole do obróbki regeneracyjnej w środowisku wodnym można przeprowadzić regenerację porcji masy zużytej w ilości 2 kg. Ilość wody znajdującej się w zbiorniku wynosi $1,5 \text{ dm}^3$. Po określonym czasie trwania obróbki regeneracyjnej uzyskaną pulpę wodno-piaskową poddaje się kilkukrotnemu płukaniu i dekantacji, aż do uzyskania czystej osnowy, którą następnie suszono w suszarce laboratoryjnej, w temperaturze 110°C .



Rys. 3. Schemat części do obróbki regeneracyjnej w środowisku wodnym: 1-wspornik napędu, 2-listwy dezintegratora, 3-pokrywa górna, 4-wyłożenie gumowe, 5-zbiornik, 6-mieszadło (dezintegrator)

3. Badania doświadczalne

Prezentowane badania obejmowały określenie regenerowalności masy zużytej z bentonitem w wyniku poddania jej obróbce w trzech, doświadczalnych systemach regeneracji:

- mechanicznej prowadzonej w urządzeniu przedstawionym na rysunku 1, przy następujących parametrach pracy regeneratora: prędkość obrotowa zespołu wirnika udarowo-sciernego 300 obr/min, czas regeneracji: 1 min, 3 min, 5 min, 10 min, 15 min, oznaczenie **RM**.
- mechaniczno-kriogenicznej prowadzonej w urządzeniu przedstawionym na rysunku 1, przy następujących parametrach pracy regeneratora: prędkość obrotowa zespołu wirnika udarowo-sciernego 300 obr/min, czas regeneracji: 1 min, 3 min, 5 min, 10 min, 15 min, oznaczenie **RK**.
- mokrej prowadzonej w urządzeniu przedstawionym na rysunku 2, przy następujących parametrach pracy regeneratora: prędkość obrotowa zespołu wirnika udarowo-sciernego 300 obr/min, czas regeneracji: 1 min, 3 min, 5 min, 10 min, 15 min, oznaczenie **RW**.

W ramach badań, do oceny regeneratu pod względem technologicznym wyznaczano następujące parametry:

- wielkość ziaren piasku świeżego, masy zużytej i regeneratu, wg [4],
- zawartość lepiszcza, wg PN 73/71-11076 [4],
- aktywność lepiszcza wg BN – 77/4024-16, [5],
- odczyn chemiczny osnowy (pH, Z_K) [6],
- wytrzymałość masy z regeneratem na ściskanie R_c^w wg PN-83/H-11073 [4],
- morfologia powierzchni (mikroskop optyczny oraz skaningowy).

3.1. Przygotowanie masy zużytej do badań

Masa zużyta z bentonitem pobrana z jednej z odlewni krajowych zawierała uśrednioną warstwę masy o grubości 50÷70 mm od powierzchni odlewu. Przeprowadzone w ramach badań przemysłowych [7] pomiary temperatury pozwoliły określić średnią temperaturę masy w kilku strefach, a mianowicie: w otoczeniu odlewu (10÷20 mm), w odległości 50-100 mm od jego powierzchni oraz w rejonach formy oddalonych od odlewu powyżej 100 mm. Temperatura masy w otoczeniu odlewu, po czasie stygnięcia wynoszącym 2 godz., wykazywała silne zróżnicowanie; lecz na ogół nie przekraczała 450°C.

Uśredniona zawartość aktywnego bentonitu w masie zużytej z odlewni, określona metodą adsorpcji błękitu metylenowego wynosiła 3÷4%.

Bliżej nieokreślona zawartość przepalonych rdzeni w masie zużytej oraz częste wahania jej składu i właściwości spowodowały konieczność zastosowania do badań większej ilości masy zużytej o kontrolowanym składzie i stabilnych parametrach. Z przygotowanej masy świeżej sporządzano małe pakiety form, które umieszczano w piecu o temperaturze 450°C na okres 4h, co pozwalało uzyskać zbliżony średni stopień przepalenia masy, oceniany zawartością aktywnego bentonitu, jaki występował w zużytej masie z bentonitem otrzymanej z odlewni.

Do badań została przygotowana masa z bentonitem o składzie:

- piasek kwarcowy „Szcakowa” –1K 0,40/0,32/0,20, J88, >1400°C, WK = 1,20 – 92%,
- bentonit GEKO S 8 %,
- woda do zawartości 3,5 %.

Masę przygotowano w mieszarce krążnikowej MK0015 w ilości pozwalającej na wykonanie pełnej serii badań. W stanie wyjściowym masa charakteryzowała się następującymi parametrami technologicznymi:

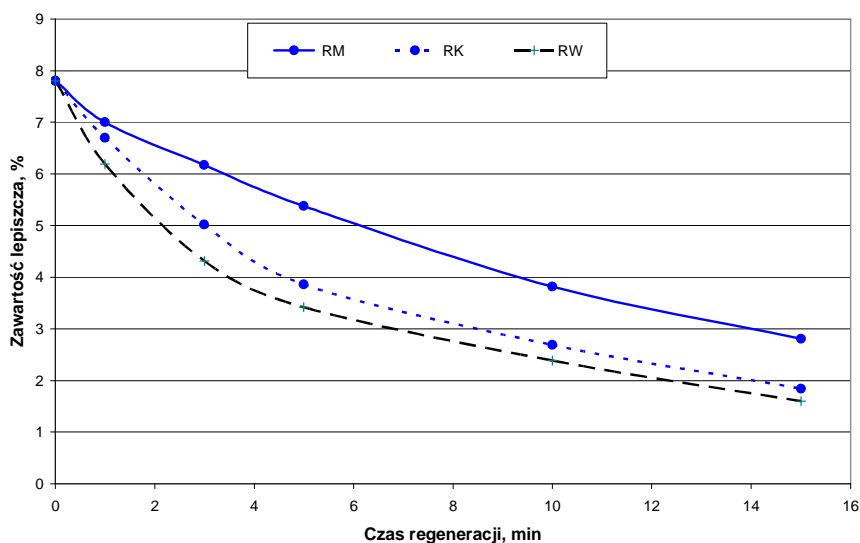
- wytrzymałość na ściskanie R_c^w 0,073 MPa,
- przepuszczalność P^w 408 10^{-8} m²/Pa s.

Do regeneracji była kierowana masa zużyta po wstępnym kruszeniu i przesianiu przez sito o prześwicie oczka wynoszącym 1,6 mm. Obrobiona cieplnie masa z bentonitem charakteryzowała się następującymi właściwościami:

- zawartość lepiszcza 7,8%,
- ilość w masie aktywnego bentonitu 3,50%,
- odczyn chemiczny pH 10,46,
- zapotrzebowanie na kwas Z_K 29,20,
- frakcja główna 0,40/0,32/0,20,
- wskaźnik kształtu W_K 1,52,
- liczba ziarnistości 52,46.

3.2. Zawartość lepiszcza w regeneracji

Wyniki badania zawartości lepiszcza w regeneracji według normy PN-73/H-11076 dla badanych sposobów obróbki regeneracyjnej suchej i końcowej klasyfikacji pneumatycznej przedstawiono na **rysunku 4**



Rys. 4. Zawartość lepiszcza w regeneracji uzyskanym z zużytej masy z bentonitem w funkcji czasu trwania procesu regeneracji: mechanicznej RM (linie ciągłe) i mechaniczno-kriogenicznej RK (linie przerywane) oraz regeneracji mokrej dla badanej prędkości obrotowej zespołu wirnika [3]

Jak można zauważyć, zwiększenie czasu regeneracji powoduje zmniejszanie się zawartości lepiszcza w zregenerowanej osnowie. W przypadku regeneracji mechanicznej i czasie regeneracji 15 minut wielkość ta zmniejsza się o 65%. Obróbka mechaniczno-kriogeniczna osnowy przy prędkości obrotowej zespołu wirnika wynoszącej 300 obr/min, powoduje po czasie obróbki wynoszącym 15 minut, praktycznie około 77% zmniejszenie zawartości lepiszcza w zregenerowanej osnowie. Uzyskany w tych warunkach efekt regeneracji mechaniczno-kriogenicznej jest bardzo zbliżony do uzyskanego efektu podczas regeneracji mokrej (78%), która jest uważana za najbardziej skuteczną metodę regeneracji zużytych mas z lepiszczem.

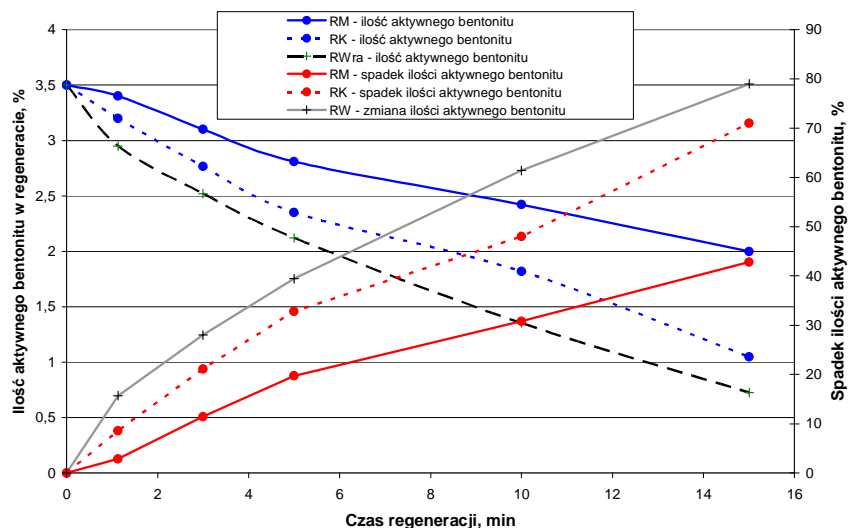
Końcowa zawartość lepiszcza, wynosząca w najkorzystniejszym przypadku około 2 % (regeneracja mechaniczno-kriogeniczna) i około 1,7% (regeneracja mokra), znacznie przekracza zawartość lepiszcza dopuszczalną w świeżym piasku gatunku 1K, która wynosi do 0,2%. Otrzymany regenerat może całkowicie zastąpić piasek kwarcowy w masie formierskiej, natomiast nie może w pełni zastąpić piasku świeżego w sporządzanych masach rdzeniowych.

3.3. Ilość aktywnego bentonitu w regeneracji

Na **rysunku 5** przedstawiono wyniki pomiaru ilości aktywnego bentonitu w regeneratach uzyskanych przy prędkości obrotowej zespołu wirnika $n = 300$ obr/min i różnych sposobach obróbki regeneracyjnej. Do określenia zawartości gliny aktywnej (montmorylonitu) w bentonicie zastosowano pomiary wykonane metodą adsorpcji błękitu metylenowego według BN-77/4024-16.

Przedstawione badania pozwalają stwierdzić, że uważana za najbardziej korzystną dla mas z lepiszczem regeneracja mokra, pozwala na usunięcie aktywnego lepiszcza ze skutecznością 80%, podczas gdy sucha regeneracja mechaniczno-kriogeniczna - 71%, a najmniej skuteczna jest w tym względzie regeneracja mechaniczna- 42%. Dokonane porównanie wskazuje na relatywnie bardzo dużą skuteczność regeneracji mechaniczno-

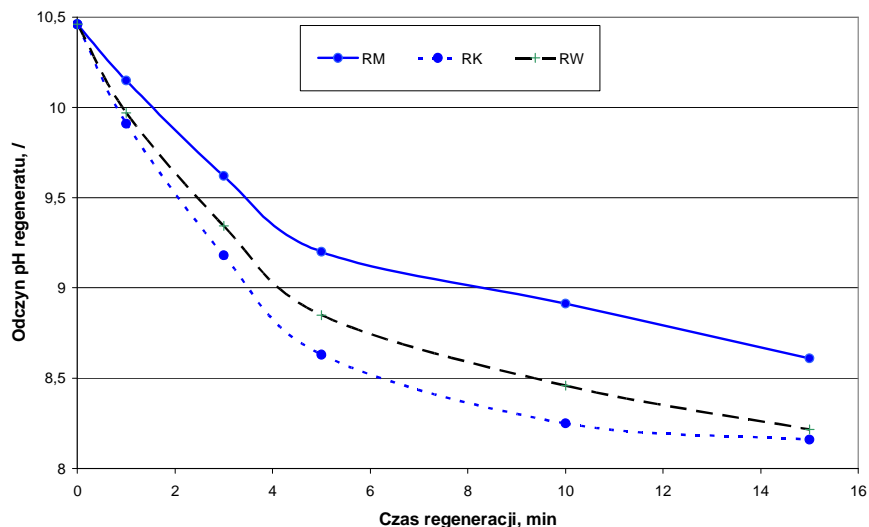
kriogenicznej, która zbliża się do 90% efektu uzyskanego w wyniku regeneracji mokrej zużytej masy formierskiej z bentonitem. Stabilny charakter przebiegu krzywych przedstawionych na **rysunku 5** wskazuje na możliwość kontroli stopnia oczyszczenia osnowy za pomocą właściwego doboru czasu obróbki regeneracyjnej.



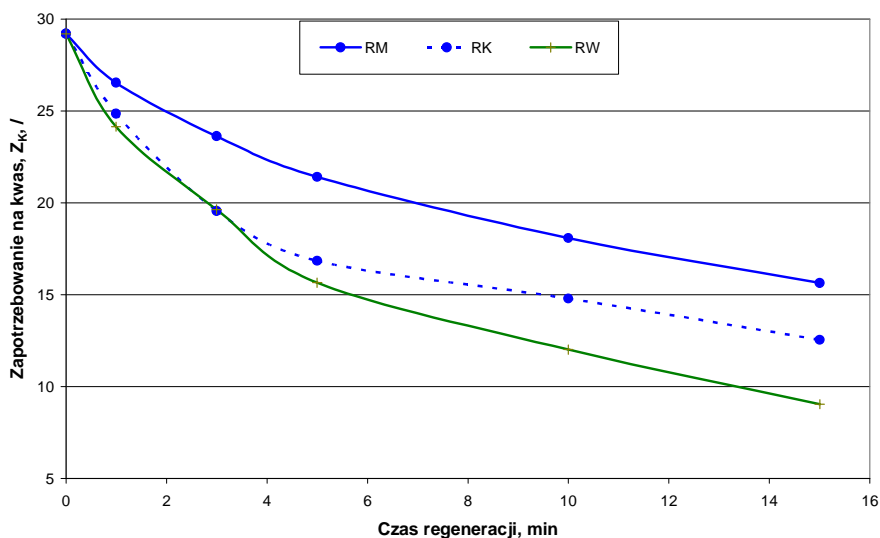
Rys. 5. Ilość aktywnego bentonitu w regeneracie uzyskanym z zużytej masy z bentonitem w funkcji czasu regeneracji dla badanych sposobów obróbki regeneracyjnej, przy prędkości obrotowej zespołu wirnika regeneratora $n = 300$ obr/min [3]

3.4. Charakter chemiczny regeneratu

Na **rysunkach 6 i 7** przedstawiono zmianę charakteru chemicznego regeneratu, mierzonego odczynem pH i wartością zapotrzebowania na kwas Z_K , w miarę wzrostu czasu prowadzenia procesu obróbki regeneracyjnej. Na podstawie przedstawionych danych doświadczalnych można stwierdzić, że zwiększenie czasu oraz intensywności obróbki regeneracyjnej prowadzi do spadku wartości odczynu pH, który we wszystkich analizowanych przypadkach zmierza do stanu bardziej obojętnego, zbliżonego dla odczynu świeżej osnowy kwarcowej. Podobny charakter jakościowy wykazują zaobserwowane zmiany wartości zapotrzebowania na kwas Z_K dla badanych regeneratów, co zostało przedstawione na **rysunku 7**.



Rys. 6. Odczyn pH regenerowanej osnowy odzyskanej z zużytej masy z bentonitem w funkcji czasu prowadzenia procesu dla badanych sposobów obróbki regeneracyjnej [3]



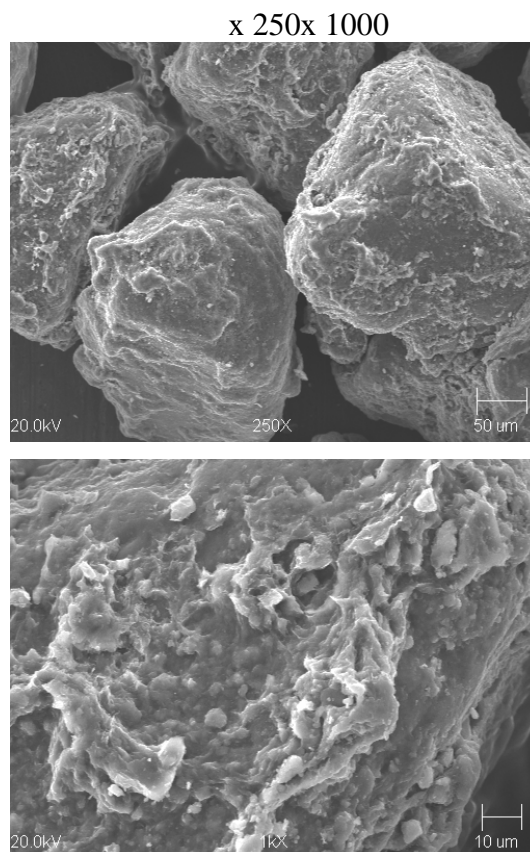
Rys. 7. Zapotrzebowanie na kwas Z_K regenerowanej osnowy w funkcji czasu prowadzenia procesu, dla badanych sposobów obróbki regeneracyjnej oraz prędkości obrotowej zespołu wirnika [3]

3.5. Morfologia powierzchni zużytej masy z bentonitem oraz regeneratu

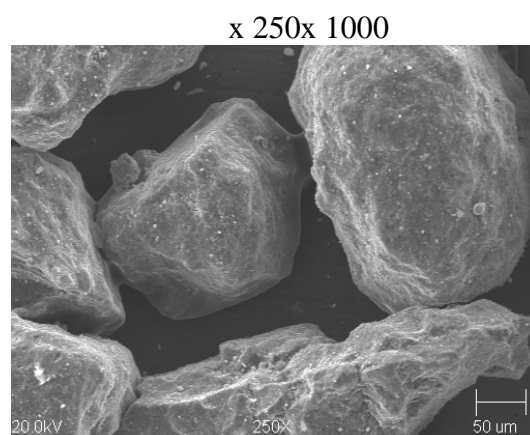
Obraz morfologii powierzchni masy zużytej, poddanej klasyfikacji pneumatycznej wstępnej, ujawniony za pomocą obserwacji mikroskopowych przy różnych powiększeniach przedstawiono na **rysunku 8**. Analiza zdjęć wskazuje na obecność powierzchniowych narostów, rozwarstwień i śladów po mostkach łączących zlepki żarn masy w stanie zagęszczonym. Dobrze widoczne są również liczne pierzaste warstwy bentonitu, rozłożone na powierzchni ziaren.

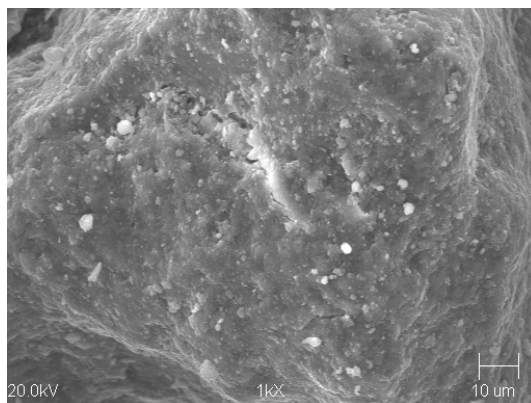
Na rysunkach **9** i **10** przedstawiono morfologię powierzchni regeneratu odzyskanego z masy zużytej z bentonitem kolejno dla regeneracji mechanicznej i mechaniczno-kriogenicznej prowadzonej przy prędkości obrotowej zespołu wirnika wynoszącej 300 obr/min w czasie 5 minut.

Porównanie stanu początkowego oraz obu odmian obróbki regeneracyjnej w oparciu o wygląd powierzchni regeneratu wskazuje przy wszystkich powiększeniach, na zaistnienie istotnych różnic w stopniu uwolnienia powierzchni od zużytego materiału wiążącego. Powierzchnia ziaren po regeneracji ulega wygładzeniu, mimo iż widoczne są nadal w zagłębieniach ziaren płatki niestartych warstw lepiszcza. Większe ubytki powierzchniowe lepiszcza są bardziej widoczne w warunkach regeneracji mechaniczno-kriogenicznej. Przejawia się to znacznym stopniem destrukcji i naruszenia zwartości warstw lepiszcza. Podczas gdy na ziarnach regeneratu po regeneracji mechanicznej pozostaje nadal zwarta jego otoczka, to na ziarnach osnowy po regeneracji mechaniczno-kriogenicznej można zauważyć odkryte fragmenty powierzchni ziaren osnowy kwarcowej, a materiał wiążący jest postrzępiony i wyraźnie widać na nim efekty zniszczenia mechanicznego. Otoczka materiału wiążącego nie jest przy tym usuwana równomiernie, jak to powinno wyglądać przy jej stopniowym zeszlifowywaniu, lecz odrywa się płatami na zasadzie odłupywania od materiału osnowy. Można zatem przypuszczać, że zwiększony efekt regeneracji mechaniczno-kriogenicznej jest wywołany zwiększeniem kruchości otoczki zużytego materiału wiążącego pod wpływem obróbki w zakresie niskich temperatur.

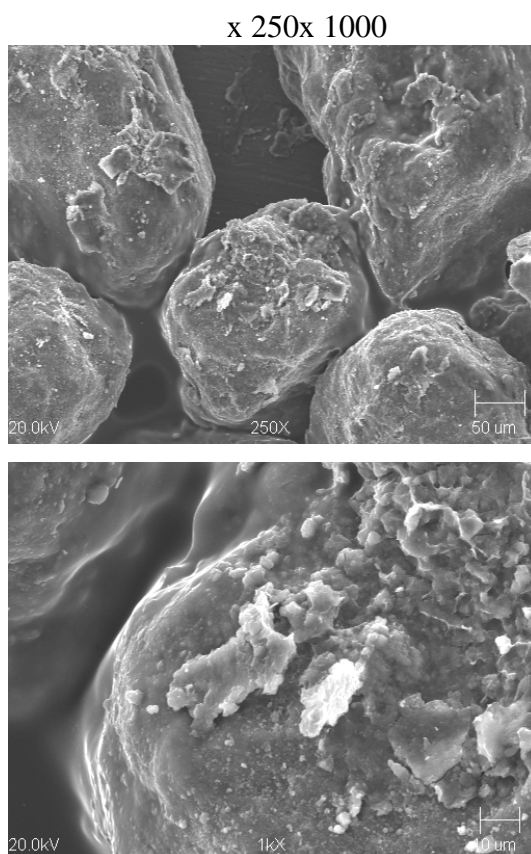


Rys. 8. Morfologia powierzchni ziarn masy zużytej z bentonitem po procesie wstępnego kruszenia, przesianiu przez sito o prześwicie oczka 1,6 mm i klasyfikacji pneumatycznej ($v_{kl} = 1 \text{ m/s}$) [3]





Rys. 9. Morfologia powierzchni regeneratu odzyskanego z masy zużytej z bentonitem po regeneracji mechanicznej i klasyfikacji pneumatycznej ($v_{kl} = 1 \text{ m/s}$); prędkość obrotowa zespołu wirnika regeneratora 300 obr/min, $t = 5 \text{ min}$ [3]



Rys. 10. Morfologia powierzchni regeneratu odzyskanego z masy zużytej z bentonitem po regeneracji mechaniczno-kriogenicznej i klasyfikacji pneumatycznej ($v_{kl} = 1 \text{ m/s}$); prędkość obrotowa zespołu wirnika regeneratora 300 obr/min, $t = 5 \text{ min}$ [3]

3.6. Podstawowe właściwości technologiczne mas z bentonitem sporządzonych na zregenerowanej osnowie

Z uzyskanych regeneratów wykonano masy formierskie i określono ich wytrzymałość na ściskanie R_C^W oraz P^W . Skład masy oraz sposób jej sporządzania odpowiadał warunkom wymienionym w rozdziale 1.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki badania wytrzymałości oraz przepuszczalności mas sporządzonych z przygotowanych regeneratów. W badaniach tych uzyskany regenerat traktowano jako zamiennik piasku świeżego. Stosowano skład masy z 7% udziałem bentonitu Zębic i 3,5% zawartością wody. W przypadku masy z bentonitem wraz ze wzrostem intensywności regeneracji wartość wytrzymałości na ściskanie R_c^w obniża się co jest spowodowane prawdopodobnie usunięciem z powierzchni ziarn części aktywnego jeszcze materiału wiążącego. Przepuszczalność badanych mas rośnie wraz ze wzrostem czasu regeneracji. W przypadku regeneracji mechaniczno-kriogenicznej można zauważyć spadek przepuszczalności mas sporządzonych z regeneratu obrabianego w regeneratorze przez czas dłuższy niż 10 minut. Jest to spowodowane kruszeniem ziarn, co potwierdziły przeprowadzone analizy sitowe. Kruszenie ziarn wpływa na zmniejszenie się ich średnicy, zwiększenie powierzchni właściwej oraz powoduje zmianę ich kształtu na ostrokrawędzisty, co stwierdzono badając morfologię powierzchni ziaren.

Tabela 2. Wytrzymałość na ściskanie R_c^w oraz przepuszczalność próbek wykonanych ze zregenerowanej osnowy po różnych czasach regeneracji

Osnowa masy:	Wytrzymałość na ściskanie R_c^w	Przepuszczalność P^w
	MPa	$10^{-8} \text{ m}^2/\text{Pa s}$
Piasek kwarcowy.	0,062	408
Masa zużyta z bentonitem .	0,089	220
RW 1 min	0,079	300
RW 5 min	0,073	320
RW 10 min	0,063	390
RW 15 min	0,060	420
RM 1 min	0,073	265
RM 5 min	0,069	315
RM 10 min	0,066	365
RM 15 min	0,062	415
RM 1 min	0,070	298
RM 5 min	0,066	345
RM 10 min	0,064	415
RM 15 min	0,059	402

4. Podsumowanie

Jak wykazały przedstawione wyniki badań najskuteczniejszą metodą odzysku osnowy jest regeneracja mokra, która jednak ze względów ekonomicznych i ekologicznych nie jest obecnie stosowana w przemyśle. Umiarkowaną skutecznością technologiczną charakteryzuje się sposób regeneracji mechanicznej, którego podstawową zaletą są relatywnie niskie koszty regeneracji. Realizacja procesu regeneracji mechanicznej w temperaturze kriogenicznej znacznie intensyfikuje proces odzysku osnowy. Ilościowe dane uzasadniające podane stwierdzenia w odniesieniu do całkowitej zawartości lepiszcza w regeneracie są następujące:

- regeneracja mokra, uważana za najbardziej korzystną, pozwala przy tym samym czasie regeneracji, na usunięcie około 80% lepiszcza, podczas gdy sucha regeneracja mechaniczno-kriogeniczna – około 75%, a najmniej skuteczna w tym względzie regeneracja mechaniczna – około 60%,

- regeneracja mechaniczno-kriogeniczna daje możliwość uzyskania około 95% efektu w porównaniu do efektu wyniku regeneracji mokrej zużytej masy formierskiej z bentonitem; zbliżone relacje uzyskuje się dokonując analizy zawartości lepiszcza aktywnego.

Badania zrealizowano w ramach pracy własnej AGH, nr 10.10.170.298

Literatura

- [1]. Lewandowski J.L., Solarski W., Zawada J.: Toxicity of moulding sands with bentonite and coal dust. Solidifications of Metals and Alloys, No. 35, 1998, p. 67-76.
- [2]. Dańko J., Dańko R., Łucarz M.: Procesy i urządzenia do regeneracji osnowy zużytych mas odlewniczych. Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2007.
- [3]. Dańko R.: Podstawy teoretyczne i technologiczne doboru optymalnych sposobów regeneracji suchej zużytych mas formierskich. Rozprawa doktorska, Wydział Odlewnictwa, Kraków 2006.
- [4]. Lewandowski J. L.: Materiały formierskie. Badania. Skrypt uczelniany 1232 i 1233. Wydawnictwa AGH, Kraków 1990 (cz. I) i 1992 (cz. II)
- [5]. Boruch J., Rynkowska J.: Oznaczanie gliny aktywnej w masie formierskiej według metody błękitu metylenowego. Przegląd Odlewnictwa nr 5, 1987, s. 166.
- [6]. Dańko J., Holzer M., Kargulewicz I., Lewandowski J. L., Zapalski A.: Możliwość wykorzystania metody określania zapotrzebowania na kwas (Z_k) do oceny jakości regeneratu z mas z cementem. Acta Metallurgica Slovaca. nr 4, special issue 2/1998, s. 136-140.
- [7]. Raport końcowy z pracy „Technologia i metoda regeneracji osnowy kwarcowej ze zużytych mas formierskich i rdzeniowych uwzględniająca selekcję podczas wybijania odlewów i wdrożenie tej metody oraz masy z regeneratem”. Projekt celowy 10 T08 036 2000/5061 wg umowy 2944/C T08-6/2001. Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków 2003.

PRZYKŁADY PROEKOLOGICZNYCH ROZWIĄZAŃ W ODLEWNICTWIE KRAJOWYM W ASPEKCIE NAJLEPSZYCH DOSTĘPNYCH TECHNIK

Mariola LATAŁA-HOLTZER¹
Zbigniew MANIOWSKI²
Maria ŻMUDZIŃSKA³

Streszczenie

Zagadnieniom ochrony środowiska poświęca się coraz więcej uwagi w działalności odlewni. Wpływają na to zarówno czynniki ekologiczne jak i ekonomiczne.

Przemysł odlewniczy powinien skupić swoje działania na sprostaniu nowemu wyzwaniu, jakim jest stosowanie najlepszych dostępnych technik w celu zapobiegania zanieczyszczeniom, niedopuszczania do ich powstawania, a w przypadku emisji zanieczyszczeń do ograniczania ich wpływu na środowisko.

W referacie podano przykłady rozwiązań proekologicznych zastosowanych w wybranych odlewniach krajowych w odniesieniu do najlepszych dostępnych technik. Omówiono modernizację systemów odpylania gniazd produkcyjnych odlewni, umożliwiającą znaczne zmniejszenie emisji pyłów do atmosfery. Przedstawiono możliwość oszczędności energii, poprzez odzysk ciepła odpadowego z chłodzenia pieców elektrycznych.

Zwrócono uwagę na możliwość zmniejszania ilości odpadów wytwarzanych przez odlewnie poprzez ich regenerację oraz zastosowanie poza odlewnią.

1. Wprowadzenie

W świetle obowiązujących przepisów w zakresie ochrony środowiska, coraz większą uwagę należy zwracać na zminimalizowanie negatywnego oddziaływania przedsiębiorstwa na środowisko naturalne. Działania w tym kierunku przynoszą wymierne korzyści ekonomiczne, wynikające ze zmniejszenia opłat naliczanych za zanieczyszczanie środowiska. Niezbędne jest wdrażanie skutecznych metod, zgodnych z zasadami ochrony środowiska i ekonomicznie opłacalnych. Ochroną środowiska interesuje się obecnie większość społeczeństwa. Lepiej odbierane są firmy, w tym odlewnie, które podejmują aktywne działania w zakresie ochrony środowiska.

Odlewnictwo jest gałęzią przemysłu, która w dużym stopniu stosuje recykling. Pomimo to technologie odlewnicze nie są bezodpadowe. Odlewnie są źródłem zanieczyszczeń pyłowo-gazowych i odpadów. Toteż przepisy związane z ochroną środowiska mają istotny wpływ na rozwój i ekonomikę przemysłu odlewniczego. Od pewnego czasu problematyka ochrony środowiska jest zintegrowana z zarządzaniem firmą. Staje się istotnym elementem zrównoważonego rozwoju w przemyśle odlewniczym, czyli rozwoju zapewniającego bezpieczeństwo ekologiczne.

¹ mgr inż. Instytut Odlewnictwa

² mgr inż. zman@iod.krakow.pl

³ mgr zastępca kierownik laboratorium

2. Przykłady proekologicznych rozwiązań w wybranych odlewniach krajowych

Odlewnia A

Instalacje odpylania

Naciski wywierane na zakład przez instytucje centralne i wojewódzkie oraz mieszkańców sąsiadujących z odlewnią wymusiły działania inwestycyjne w zakresie ochrony środowiska obejmujące odpylanie gniazd produkcyjnych odlewni.

Odpylanie żeliwiaków

Celem uruchomienia instalacji suchego odpylania żeliwiaków było zmniejszenie ilości emitowanych pyłów z dwóch żeliwiaków ϕ 700 mm. W założeniach projektowych przyjęto pracę przemienną żeliwiaków, temperaturę zanieczyszczonych gazów odlotowych na wylocie pieca $\sim 800^{\circ}\text{C}$, maksymalną temperaturę przed chłodnicą powierzchniową 550°C .

Zastosowana instalacja składa się z: dwóch głowic przykrywających wyloty pieców, chłodnicy, zbiornika zanieczyszczeń i cyklonu, filtra oraz wentylatora promieniowego.

Zanieczyszczone gazy po ostudzeniu w chłodnicy, kierowane są do cyklonu celem oddzielenia grubych frakcji pyłu. Następnie przepływają przez wkłady filtracyjne do komory czystego gazu. Układ sterowania temperaturą chłodnic i zawór powietrza wnikającego do filtra, przeciwdziałają przekroczeniu dopuszczalnej temperatury gazów wchodzących do filtra. Główny wentylator promieniowy na odpływie zespołu filtra wdmuchuje oczyszczone gazy przez komin do atmosfery. Oddzielone grubsze i drobne frakcje pyłów są wyładowywane i ładowane do worków. Przyrządy pomiarowe i sterownicze instalacji odpylania działają w pełni automatycznie. Ilość gazów odprowadzanych z punktów wyjściowych jest regulowana przez automatyczny układ sterowania podciśnieniowego. Ponadto instalacja wyposażona jest w układ zasilania awaryjnego wyłączenia i sygnalizację zakłóceń.

Analiza emisji pyłów z żeliwiaków wykazała, że po zainstalowaniu odpylaczy zmniejszyła się ona średnio z 17,52 kg/h do 0,04 kg/h. Zastosowane rozwiązanie wyeliminowało liczne interwencje okolicznych mieszkańców na uciążliwość powodowaną nadmierną emisją pyłów do atmosfery. Pomiary emisji wykazały skuteczność zastosowanej metody $\sim 99,8\%$ i spełnienie wymagań ochrony środowiska.

Sucha metoda odpylania gazów odlotowych z żeliwiaka należy do zalecanych technik (BAT).

Odpylanie stanowisk zalewania form, wybijania i oczyszczania odlewów

Modernizacja odpylania wyżej wymienionych stanowisk poprzez zastąpienie mokrych odpylaczy typu MB o małej sprawności, instalacją suchego odpylania, pozwoliła na całkowite wyeliminowanie ścieków przemysłowych. Najważniejszą częścią tej instalacji jest filtr pulsacyjny zatrzymujący ponad 99% pyłów wyciąganych z stanowisk, nad którymi jest zainstalowany. Instalacja ta wyposażona jest w wyciąg z dwoma palnikami gazowymi, pozwalającymi osuszyć powietrze zawierające duże ilości pary wodnej. Zainstalowany układ automatycznego sterowania reguluje ilość odciąganego powietrza. Natomiast pyły zatrzymywane przez filtr wsypywane są do worków i transportowane na składowisko.

Zastosowane w odlewni nowatorskie rozwiązania instalacji odpylania pozwoliły na osiągnięcie głównego celu jakim było ograniczenie emisji pyłów.

Suche metody odpylania są zalecane, ponieważ nie generują ścieków przemysłowych.

Odlewnia B

Wykorzystanie ciepła odpadowego z chłodzenia pieców indukcyjnych

Ciepło odpadowe z chłodzenia pieców indukcyjnych było tracone przez wodę w otwartych chłodniach wentylatorowych.

Pomieszczenia zakładu ogrzewane były gazem płynnym przez kotłownię (pomieszczenia biurowe i szatnie) oraz promienniki ceramiczne i rurowe (stanowiska pracy).

Realizowana inwestycja umożliwiła wykorzystanie ciepła odpadowego do ogrzewania pomieszczeń i stanowisk pracy poprzez wymianę chłodni wentylatorowych otwartych na chłodnie powietrzne zamknięte. Ogrzewanie gazowe pracuje tylko w okresach bardzo niskich temperatur zewnętrznych oraz w czasie postoju pieców indukcyjnych.

Wdrożenie tej inwestycji przyniosło wymierne korzyści ekonomiczne i środowiskowe:

- wykorzystanie ciepła odpadowego z chłodzenia pieców indukcyjnych,
- zmniejszenie ilości gazu do ogrzewania pomieszczeń,
- likwidacja strat wody w chłodniach,
- zmniejszenie hałasu emitowanego przez chłodnie.

Odzysk ciepła odpadowego z chłodzenia pieców elektrycznych jest jedną z metod wymienionych w BAT, umożliwiających oszczędność energii.

Odlewnia C

Zagospodarowanie odpadów odlewniczych

Podczas produkcji odlewów powstają znaczne ilości odpadów w postaci zużytych mas formierskich i rdzeniowych, szlamów z odpylaczy mokrych, pyłów z cyklonów pochodzących z odpylania technologicznego odlewni, żużli odlewniczych.

Reżim technologiczny oraz coraz bardziej rygorystyczne przepisy ochrony środowiska powodują, że coraz trudniej jest wykorzystać powstające odpady wewnątrz odlewni. Z kolei wywożenie odpadów na wysypiska powoduje zagrożenie środowiska i podnosi koszty produkcji odlewów. Dlatego dąży się w pierwszej kolejności do minimalizacji odpadów poprzez zmiany w procesie produkcyjnym, stosowanie regeneracji mas odpadowych, pozwalającej na ponowne wprowadzenie osnowy piaskowej (regeneratu) do procesu produkcyjnego oraz poszukuje się innych sposobów zagospodarowania zużytych mas formierskich poza odlewnią.

Odlewnia C w skali roku wytwarza ok. 800 Mg odpadowych mas formierskich i rdzeniowych. Składowanie tych odpadów na wysypisku stwarza konieczność ponoszenia opłat za korzystanie ze środowiska. Wykorzystanie odpadów pozwala na uniknięcie tych kosztów oraz umożliwia wyjście naprzeciw obowiązującym zasadom w aspekcie zarządzania odpadami.

Ocenę możliwości utylizacji odpadowych mas odlewniczych przeprowadzono w odniesieniu do mieszaniny mas formierskich i rdzeniowych stosowanych w odlewni, o składzie odpowiadającym ich udziałowi w globalnej ilości (uwzględniając stopień przepalenia mas). Na podstawie przeprowadzonych prac badawczych stwierdzono, że badany odpad spełnia wymagania norm budowlanych pod względem: uziarnienia, maksymalnej gęstości szkieletu gruntowego, wodoprzepuszczalności w stanie naturalnym, kapilarności biernej zarówno w stanie naturalnym jak i po zagęszczeniu, a także zawartości siarki.

Badany odpad może być wykorzystany w drogownictwie jako składnik:

- warstw mrozoochronnych i filtracyjnych,
- warstw mrozoochronnych i wzmacniających, warstw ulepszonych podłoża w technologii stabilizacji cementem,

- dolnych partii korpusu drogowego,
- podsypki i obsypki instalacji (przewody, kable)
- dolnych partii (poniżej 1,2 m) zasypek w wykopach wąskoprzestrzennych a także do doziarniania, źle uziarnionych mieszanek kruszyw, w których występuje niedobór frakcji piaskowej.

Ponadto stwierdzono, że badany odpad może być zastosowany jako dodatek do masy ceramicznej, przeznaczonej do produkcji większości popularnych ceramicznych materiałów budowlanych. Wykonane w skali laboratoryjnej cegły z dodatkiem badanego odpadu spełniały wymogi określone dla materiałów budowlanych.

Zastosowanie odpadowych mas poza odlewnią: w drogownictwie lub budownictwie wpływa na zmniejszenie opłat ponoszonych za składowanie odpadów a także pozwala traktować te odpady jako surowiec wtórny, spełniając równocześnie wymogi BAT.

Odlewnia D

Dla odlewni, wytwarzającej rocznie ok. 1200 ton masy odpadowej opracowano metodę wykorzystania tego odpadu jako dodatku schudzającego do produkcji cegły budowlanej palonej.

Opracowana metoda obejmowała sposób przerobu i przygotowania odpadowych mas formiersko-rdzeniowych.

Przerobiony w kruszarce wibracyjnej odpad zużytej masy formierskiej był kierowany do zbiornika masy odwałowej, skąd łącznie z pyłami z odlewni przewożony był do pobliskiej cegielni i wykorzystany jako materiał schudzający w produkcji cegieł.

W cegielni wykonano około 10 000 sztuk cegieł. Cegielnia zaopiniowała jakość wyrobów pozytywnie. Na wniosek Starostwa Powiatowego Burmistrz Miasta wydał cegielni zezwolenie na utylizację przetworzonej zużytej masy formierskiej pochodzącej z odlewni poprzez wykorzystanie w produkcji cegieł.

Z tytułu ograniczenia opłat za wywóz i składowanie na wysypisku oraz transportu i odsprzedaży cegielni masy odpadowej jako półproduktu do schudzania cegieł, odlewnia, produkująca rocznie ok. 1200 ton masy odpadowej uzyskała znaczne oszczędności.

Zastosowanie odpadowych mas poza odlewnią: w drogownictwie lub budownictwie wpływa na zmniejszenie opłat ponoszonych za składowanie odpadów, a także pozwala traktować te odpady jako surowiec wtórny, spełniając równocześnie wymogi BAT.

Odlewnia E

Redukcja emisji pyłów i gazów

Zaleceniami Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska zakład zobowiązany został do ograniczenia emisji pyłów z pieców łukowych. Po dokonaniu analizy możliwości rozwiązania tego problemu, najlepszym rozwiązaniem było zabudowanie pieców elektrycznych hermetycznymi obudowami oraz wyposażenie ich w instalację odpylającą o dużej sprawności. Założone parametry techniczne zostały osiągnięte poprzez zastosowanie nowoczesnych, wysokowydajnych filtrów niemieckiej firmy. Stężenie pyłów w gazach emitowanych do atmosfery jest na poziomie 3mg/m^3 , a sprawność instalacji przekracza 90%, co pozwala uznać zastosowaną technikę odpylania za BAT. Efektem ekologicznym realizacji inwestycji jest zmniejszenie emisji pyłów z pieców łukowych z poziomu 20 Mg/rok do wartości 1,3 Mg/rok. Jednocześnie poprzez hermetyzację pieców znacznie poprawiły się warunki na stanowiskach pracy pod względem zmniejszenia zapylenia i redukcji hałasu.

Zainstalowanie aparatury do automatycznej regulacji temperatury i kontroli spalania gazu w piecach do wyżarzania odlewów oraz wyłożenie komory pieców modułami z włókniny żaroodpornej spowodowało zmniejszenie zużycia gazu o 30% oraz ograniczenie emitowanych do atmosfery: CO i NO_x.

Realizując kolejne działania proekologiczne w zakładzie wykonano hermetyczną zabudowę kraty do wybijania odlewów, wyposażoną w instalację odpylającą, ograniczającą zapylenie i hałas na stanowisku pracy. Zastosowano nowatorskie rozwiązanie przejezdnej kabiny, składającej się z dwóch ruchomych komór łączonych ze sobą poprzez docisk ich krawędzi wewnętrznych, zakończonych elastycznym materiałem uszczelniającym. Każda komora wyłożona jest materiałem wygłuszającym i posiada zespół napędowy, umożliwiający przemieszczanie się na kołach jezdnych po szynach torowiska obudowy. Zastosowana kabina wyposażona jest w instalację odciągową zapyłonego powietrza, podłączoną do filtra tkaninowego pulsacyjnego. Uszczelnione wycięcia w części stropowej kabiny umożliwiają wprowadzenie formy odlewniczej na haku suwnicy. Wybita z form masa, po wstępnym rozdrobnieniu na kracie wstrząsowej i po oddzieleniu części metalowych, gromadzona jest w zbiorniku w stacji przerobu mas, skąd podajnikiem podawana jest na linię regeneracji do kruszarki wibracyjnej. Poszczególne urządzenia technologiczne i transportowe linii regeneracji podłączone są do instalacji odpylania. Pyły z linii regeneracji, po nawilżeniu przekazywane są transportem rurowym do zbiorników masy odwałowej, znajdujących się poza halą odlewni.

Zastosowane rozwiązania zostały uznane przez ekspertów unijnych, opracowujących dokumenty referencyjne dla odlewnictwa, jako wzorcowe dla innych odlewni europejskich, umożliwiając skuteczne obniżenie negatywnego oddziaływania procesów odlewniczych na środowisko naturalne oraz środowisko pracy.

Odlewnia F

Regeneracja masy formierskiej

Zastosowana stacja regeneracji masy formierskiej umożliwia odzysk około 80% piasku chromitowego (poprzednio używano tylko nowo zakupiony) oraz zmniejsza ilość masy formierskiej odpadowej średnio z 1500 Mg do 500 Mg rocznie. Powoduje to zmniejszenie kosztów zastosowania świeżego piasku chromitowego oraz zmniejszenie opłat za korzystanie ze środowiska (składowanie odpadów).

Modernizacja systemu odpylania

Zastąpienie odpylaczy mokrych suchymi filtrami tkaninowymi w stacji przerobu mas formierskich oraz w kabinie upalania proszkowego, pozwala na zwiększenie sprawności odpylania z 80% do 98%. Ponadto zastosowano urządzenie do granulacji odseparowanych pyłów, które wykorzystywane są w budownictwie drogowym jako wypełniacz mas asfaltowych.

Dzięki wymianie systemu odpylania mokrego na suchy:

- zminimalizowano emisję pyłów do atmosfery,
- zwiększono skuteczność wychwytywania pyłów w gazach odlotowych,
- wyeliminowano zrzut ścieków z układu mokrego odpylania,
- ograniczono zużycie wody do celów przemysłowych,
- wyeliminowano powstawanie szlamów odpadowych, co jest zgodne z wdrożeniem BAT.

3. Podsumowanie

Zanieczyszczanie środowiska przez przemysł w dłuższej perspektywie ogranicza wzrost ekonomiczny. Nowym wyzwaniem jest zmiana tych trendów na takie, które umożliwią odpowiedni postęp poprzez wykorzystanie procesów nisko lub bezodpadowych i czystych technologii.

Obecnie odlewnie powinny pogodzić konieczność ponoszenia wydatków na rozwój produkcji oraz ekologię, co jest warunkiem niezbędnym do zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw. Podejmowanie działań proekologicznych pozwala na funkcjonowanie

zakładu w sposób przyjazny dla środowiska. Przy doborze metod umożliwiających zmniejszenie negatywnego oddziaływania na środowisko, odlewnie powinny dokonywać wyborów zgodnych z wymaganiami najlepszych dostępnych technik. Przedstawione w niniejszym referacie rozwiązania proekologiczne to przykłady dążenia odlewni do spełnienia wymogów BAT.

4. Literatura

1. T. Bogacz, M. Młyński, Z. Maniowski, F. Pezarski, I. Izdebska-Szanda „Polskie rozwiązania techniczne wdrożone w Metalodlew S.A. wzorem dla innych odlewni europejskich”
2. K. Kowalski „Korzyści środowiskowe wynikające z dostosowywania się do najlepszych dostępnych technik na przykładzie Zakładu Metalurgicznego Alstom Power” Archiwum Odlewnictwa Wyd. PAN nr 20 Katowice 2006
3. M. Żmudzińska, M. Latała-Holtzer „Masy formierskie- możliwości ich utylizacji” Archiwum Odlewnictwa Wyd. PAN nr 13 Katowice 2004
4. T. Gabryel: „Odpylanie w Wulkan Odlewni Żeliwa S.A. w Częstochowie” Przegląd Odlewnictwa nr 11/1999

Nieorganiczne spoiwo CORDIS technologia i maszyny

Andrzej GŁÓD¹

1. Wprowadzenie

Odlewnie borykają się ciągle z nowymi, coraz bardziej skomplikowanymi wyzwaniami, a także wzrastającymi nowymi wydatkami związanymi z ochroną stanowiska pracy i środowiska. Szczególny problem stanowią wydzielające się przy zalewaniu i chłodzeniu form odlewniczych produkty parowania, wylewania i krakowania, które powstają ze stosowanych w odlewniach rdzeni produkowanych dzisiaj przeważnie z mas wiązanych żywicami syntetycznymi. Obok emisji gazów i odoru powstających przy zalewaniu rdzeni, także przy produkcji rdzeni wydzielają się zapachy i powstają emisje. Chociaż w ostatnich latach podjęto duże wysiłki, a także osiągnięto znaczną poprawę w całym procesie, problematyka ta nie została jeszcze ostatecznie rozwiązana. Dlatego w ostatnich latach wzrosło zainteresowanie i poszukiwanie spoiw alternatywnych. Zwrócono przy tym szczególną uwagę przede wszystkim na spoiwa nieorganiczne. Ich zastosowanie umożliwia wyraźne zmniejszenie emisji i związanego z tym obciążenia odorem przy produkcji rdzeni a przede wszystkim przy zalewaniu, szczególnie w przypadku odlewania aluminium.

2. Spoiwo nieorganiczne – przełom czy wieczna nadzieja?

W celu wyprowadzenia spoiw nieorganicznych z ich niszowej egzystencji rozpoczęto dyskusję nad ich zastosowanie w odlewniach na konferencji w listopadzie 2002, pod przewodnim motywem *Spoiwo nieorganiczne – przełom czy wieczna nadzieja?* [1]. Oferenci spoiw nieorganicznych przedstawili przy tym swoje koncepcje nowych spoiw i pokazali możliwości ich zastosowania. Duże zainteresowanie i pozytywny oddźwięk w tej sprawie uwidocznił się także na odbywającym się w następnym roku kongresie GIFA, na którym ten temat był szeroko omawiany [2].

Huttenes-Albertus przedstawił na w/w konferencji a także na kongresie GIFA opracowany przez Grupę Huttenes-Albertus system spoiwa nieorganicznego. Aby dopomóc przebicciu się spoiwa nieorganicznego na rynku, Huttenes-Albertus wprowadzając spoiwo Cordis dąży do wykorzystania przy produkcji już istniejących i eksploatowanych technik lub urządzeń. A zatem powinno być możliwe zastosowanie spoiwa na tradycyjnych strzelarkach, a także usuwanie rdzeni z odlewów na istniejących urządzeniach. Zalecane jest przy tym wybijanie rdzeni na sucho. Podstawowym jednak warunkiem wprowadzenia na rynek systemu spoiwa Cordis jest uzyskanie przy jego użyciu porównywalnej jakości odlewów z jakością odlewów do produkcji, których obecnie stosuje się spoiwa organiczne. Przy uwzględnieniu tych wszystkich wymagań spoiwo zostało rozwinięte właśnie w ostatnich latach.

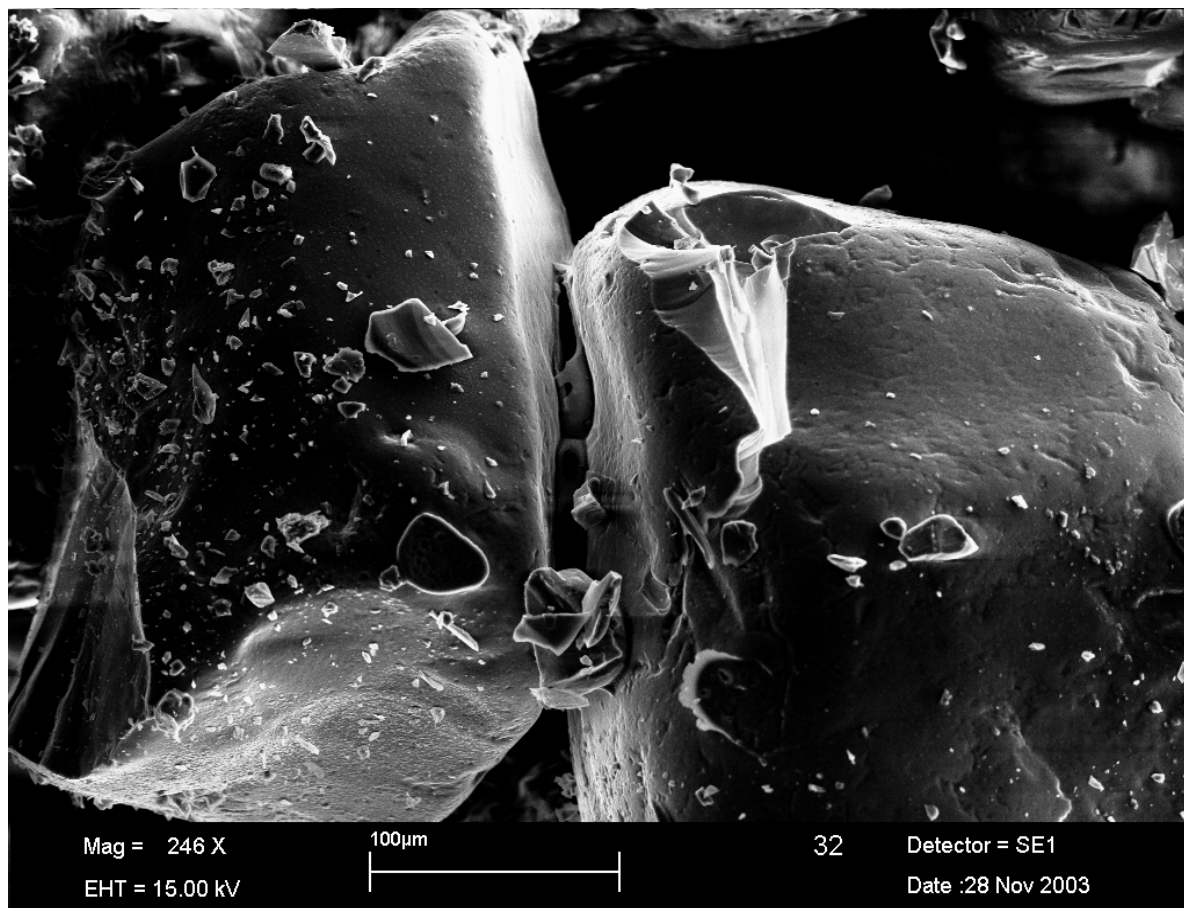
3. Od idei do rdzenia

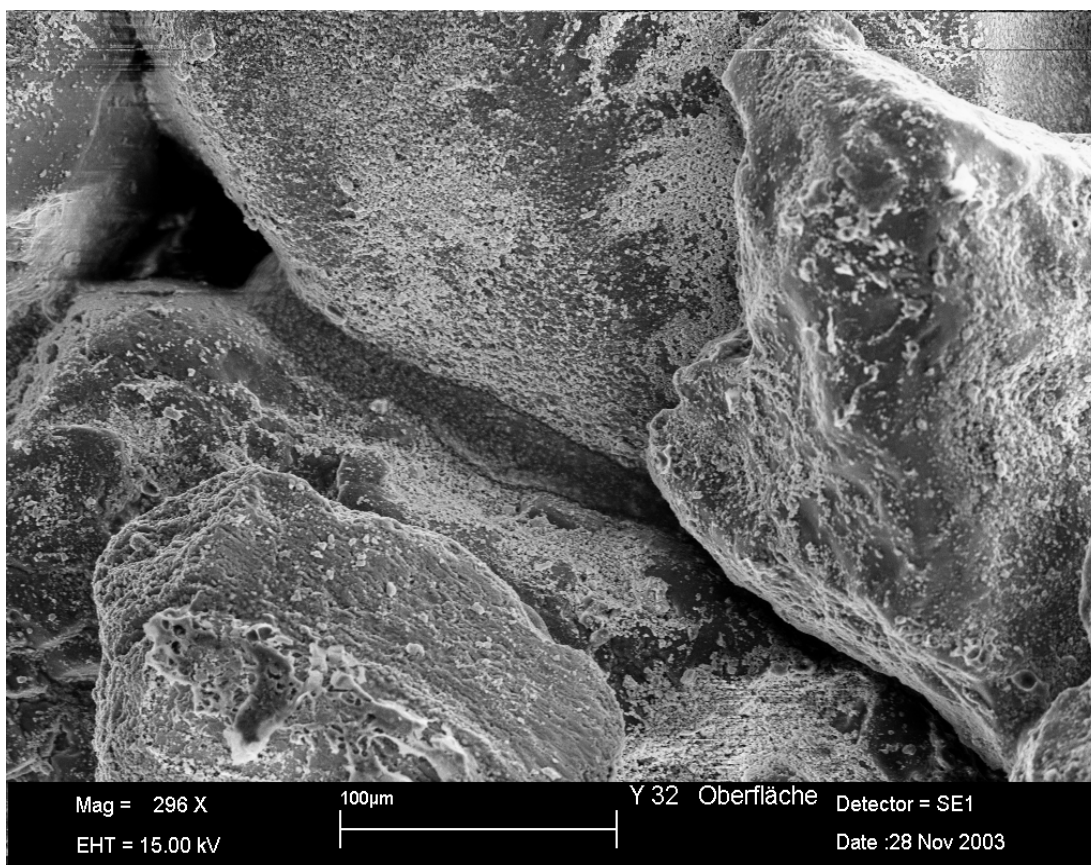
Koncepcja spoiwa Cordis została opracowana już w latach 90-tych.

Myślą przewodnią było to, żeby urzeczywistnić system wiązania z wodą jako jedynym rozpuszczalnikiem i całkowicie nieorganiczną osnową. To rozwiązanie jest w całości

¹ mgr inż., Huttenes-Albertus Polska

zrealizowane w dzisiejszej generacji spoiw Cordis. Osnowa spoiwa tworzy się, w zależności od typu spoiwa z kombinacji grup fosforanów, krzemianów i boranów. Celowe kombinacje i zmiany budowy osnowy spoiwa umożliwia regulowanie własności poszczególnych typów spoiwa (**Rys 1**). Do polepszenia własności stosuje się dodatki nieorganiczne, albo włączone do spoiwa albo jako dodatki przy produkcji rdzeni. Poprzez kombinacje dodatków można regulować ważne parametry procesu jak płynność masy czy trwałość składowania rdzeni.





Rys. 1a,b: Zdjęcia z mikroskopu skaningowego wiązań dwóch różnych typów spoiw Cordis.

Przy zastosowaniu spoiwa nieorganicznego duże znaczenie ma jednorodność masy. Masa powinna, więc być przygotowywana na odpowiedniej do tego celu mieszarce.

Do produkcji rdzeni można stosować praktycznie wszystkie znajdujące się na rynku strzelarki do rdzeni (pod warunkiem, że można zastosować w nich podgrzewanie rdzennicy).

4. Produkcja rdzeni

W celu wykonania rdzenia masa zostaje wstrzelona do gorącej rdzennicy. Temperatura rdzennicy wynosi zależnie od geometrii rdzenia od 120 do 160 °C. Należy dbać o równomierne nagrzanie rdzennicy. Po wprowadzeniu masy na bazie wodnego spoiwa do rdzennicy, tworzy się skorupa wzdłuż zewnętrznego obrysu rdzenia (**Rys 2**). Ten pierwszy krok utwardzania polega na procesie suszenia, przy którym z rdzenia usuwana jest wilgoć pochodząca z rozpuszczalnika wodnego. Jest to czysto fizyczny proces utwardzania. Dodatkowo można, zależnie od użytego typu spoiwa Cordis, zastosować chemiczny proces utwardzania. W wyniku otrzymuje się wyższą wytrzymałość przy wyjmowaniu rdzenia z rdzennicy niż przy czysto fizycznym procesie utwardzania (suszenie).

W zależności od użytego piasku i typu spoiwa Cordis osiąga się wytrzymałości na zginanie na zimno 350 - 550 N/cm² przy zawartości spoiwa od 1,5 – 3 %.



Rys 2 Tworzenie się skorupy na rdzeniu rury ssącej ze spoiwem Cordis, bezpośrednio po wyjęciu z maszyny.

Utwardzanie można wyraźnie przyspieszyć przez przedmuchiwanie rdzenia gorącym powietrzem. To przedmuchiwanie prowadzi do lepszego nagrzania masy rdzeniowej i odprowadza również skutecznie wodę powstającą w rdzeniu podczas procesu suszenia. Czas utwardzania rdzeni nieorganicznych zależy w dużym stopniu od ich geometrii i od zastosowanych rdzennic. Im większy i bardziej zwarty rdzeń tym trudniejsze jest jego utwardzenie.

Można, więc przy użyciu spoiwa Cordis, ze względu na jego dobrą płynność, produkować rdzenie o cienkich przekrojach, jak np. rdzenie koszulki wodnej, rdzenie bloku silnika, części podwozia. Rdzenie kolektora ssącego pokazane na (Rys 3), oraz rdzenie wahacza tylnej osi (Rys.4) produkowane są już seryjnie.



Rys.3 a,b Rdzeń ze spoiwem Cordis, odlew z zastosowaniem rdzenia



Rys. 4. Rdzeń odlewu wahacza tylnej osi motocykla. Masa rdzenia wynosi 3,8 kg.

5. Powłoki ochronne

Przy odlewach aluminiowych rdzenie wykonane na bazie spoiwa Cordis mogą być zalewane w stanie nie pokrytym powłoką ochronną. Jeżeli jednak zastosowanie powłoki jest konieczne, rdzenie mogą być pokrywane zarówno powłokami alkoholowymi jak i wodnymi. Podobnie jak rdzenie organiczne również rdzenie nieorganiczne tracą w niewielkim stopniu wytrzymałość w porównaniu do rdzeni niepowleczonej. Powłoki wodne powodują przy tym większą utratę wytrzymałości niż alkoholowe.

6. Składowanie rdzeni

Szczególną uwagę przy użyciu spoiw nieorganicznych należy zwrócić na składowanie rdzeni wykonanych przy ich zastosowaniu. Ze względu na ich hydrofilowe właściwości (rozpuszczalnikiem spoiwa jest woda), są one szczególnie czułe na wysoką wilgotność powietrza. Rdzenie nieorganiczne nie powinny być, zatem składowane przez dłuższy czas na wolnym powietrzu ani niewystawiane na działanie bardzo wilgotnego powietrza.

Przy opracowaniu systemu spoiw Cordis przebadano możliwości składowania rdzeni próbnych w zwykłych komorach klimatyzacyjnych względnie wilgotnościowych. Rdzeń próbny był przy tym składowany w określonej wilgotności powietrza, a następnie były badane jego własności. W badaniach laboratoryjnych rdzenie Cordis okazały się, w porównaniu z innymi spoiwami nieorganicznymi, najbardziej odporne na działanie podwyższonej wilgotności powietrza. (Rys 5). Rdzenie Cordis mogą być składowane przez 24 godziny przy wysokiej wilgotności względnej powietrza i tracą przy tym tylko jedną trzecią swojej wytrzymałości.

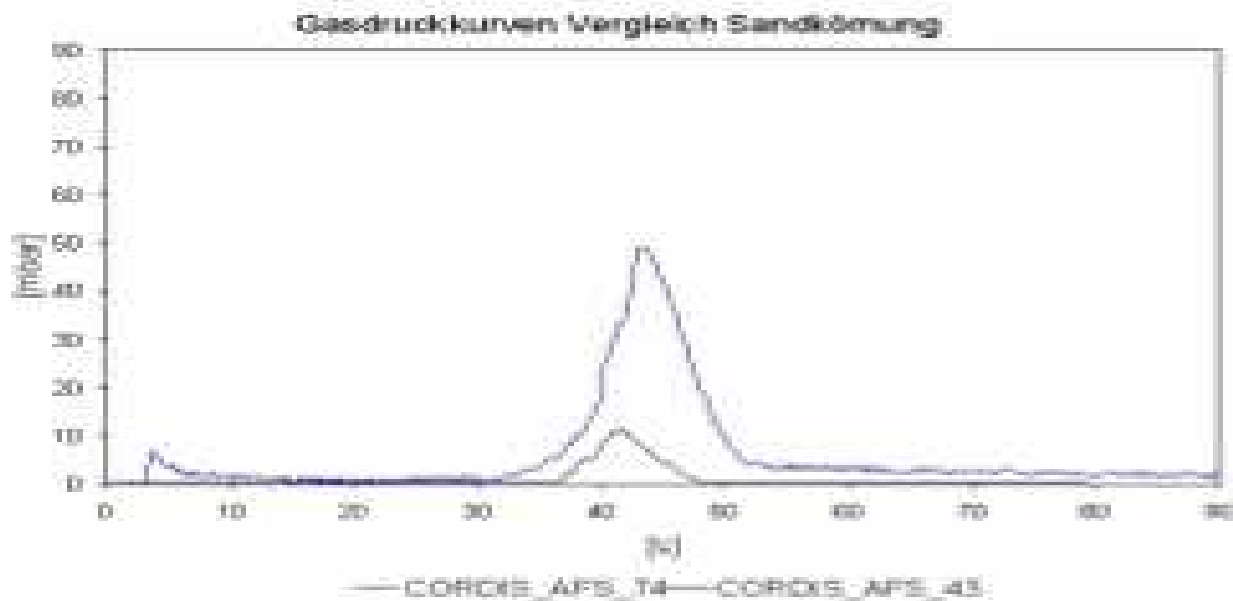


Rys. 5 Testy składowania rdzeni Cordis w komorze klimatyzacyjnej o wysokiej wilgotności względnej powietrza.

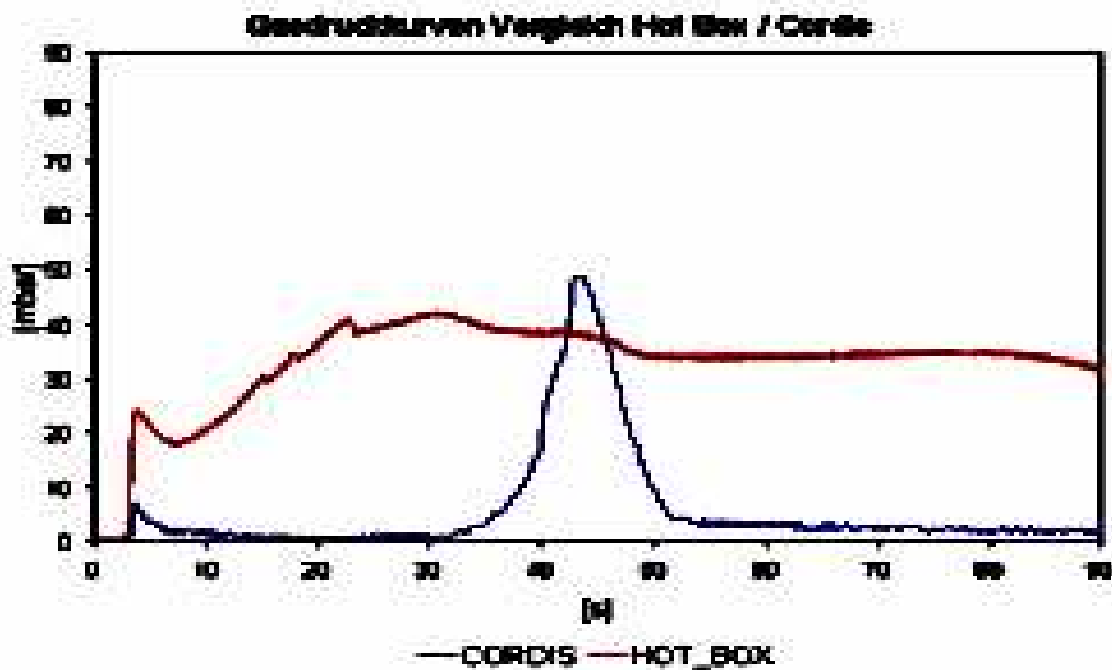
7. Od rdzenia ze spoiwem Cordis do odlewu

Jeszcze wyraźniej niż przy produkcji rdzeni, przyjazne dla otoczenia spoiwa nieorganiczne okazują się przy zalewaniu rdzeni. Tak został zalany grawitacyjnie w kokili kompletny pakiet rdzeni głowicy cylindrowej. Podczas zalewania nie stwierdzono powstawania ani ciemnego dymu ani zapachu. Ponadto nawet po wielu zalaniach nie stwierdzono w kokili tworzenia się kondensatu.

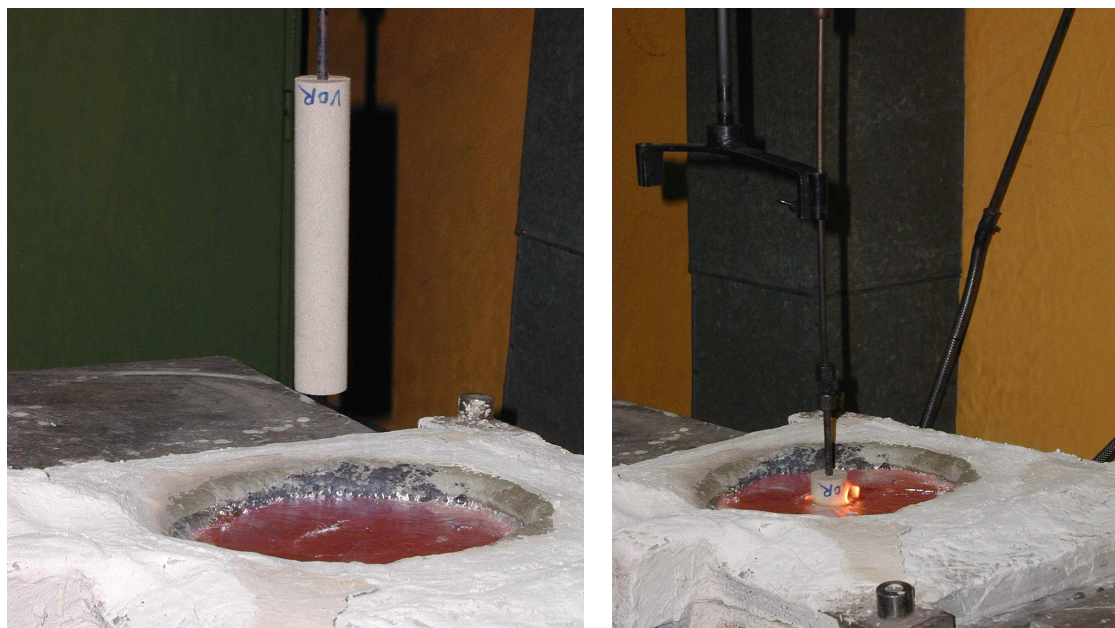
Szeroko rozpowszechniony jest pogląd i ciągle na nowo dyskutowany temat, że w przeciwieństwie do rdzeni wiązanych organicznie rdzenie nieorganiczne mogą być zalewane bez uderzeń gazowych. Badania przeprowadzone w firmie Huttenes-Albertus wykazały jednak, że nawet przy rdzeniach wiązanych nieorganicznie obserwuje się uderzenie gazowe. Szczególnie wyrazista jest tutaj zależność uderzenia gazowego od ziarnistości użytego piasku. Przy zastosowaniu grubego piasku (AFS 43) obserwuje się znacznie mniejsze uderzenie gazowe niż przy użyciu drobnego piasku (AFS 74). (**Rys.6**). Ponieważ obie badane próbki zawierały identyczne ilości spoiwa, bardzo wyraźny był wpływ ziarnistości piasku na wysokość tworzącego się ciśnienia gazu. Rdzenie Cordis wykazują inną charakterystykę, jeżeli chodzi o powstawanie uderzeń gazowych niż rdzenie wiązane organicznie. Podczas gdy rdzenie hot-box natychmiast po zetknięciu z metalem zaczynają w sposób ciągły wydzielać gaz, rdzenie nieorganiczne dopiero po trzydziestu do czterdziestu sekundach wykazują wyraźny wzrost ciśnienia, które po osiągnięciu maksimum natychmiast spada (**Rys 7**).



Rys. 6 Porównanie krzywych ciśnienia gazu dwóch rdzeni Cordis o różnej ziarnistości piasku: drobny piasek AFS 74 i gruby piasek AFS 43



Rys. 7 Porównanie uderzenia gazowego rdzeni hot-box i Cordis



Rys. 8 Pomiar ciśnienia gazów

Obok już opisanych pozytywnych doświadczeń przy zastosowaniu rdzeni Cordis w grawitacyjnym odlewaniu kokilowym aluminium można osiągnąć także bardzo dobre wyniki przy zastosowaniu w niskociśnieniowym odlewaniu aluminium oraz odlewaniu aluminium do form wilgotnych.. Otrzymywane przy tym powierzchnie odlewów są porównywalne lub lepsze niż wyniki odlewania z użyciem rdzeni wiązanych organicznie. Wybijanie rdzeni z odlewów odbywa się bez problemu na będących już w użyciu urządzeniach do wybijania, przy czym rdzenie mogą być wybijane z odlewu bez poprzedniej obróbki cieplnej. Przy stosowaniu piasków regenerowanych należy zwrócić uwagę na oddzielanie piasków ze spoiwami organicznymi od nieorganicznych, ze względu na różną charakterystykę chemiczną spoiwa.

8. Maszyny

W maszynach rdzeniarskich do technologii Cordis stosuje się najczęściej połączenie klasycznej technologii hot-box (warm-box) z elementami technologii utwardzania przez przedmuchiwanie gazami. Metalowe rdzennice nagrzewa się do temperatury 230°C charakterystycznej dla procesu hot-box lub niższej ok. 160°C charakteryzującej proces warm -box , a następnie w celu przyspieszenia procesu utwardzania przedmuchuje się gorącym powietrzem. Temperatura powietrza waha się w granicach 40- 150°C. Wykorzystuje się przy tym konwencjonalne gazogeneratory o odpowiednio podwyższonej mocy stosowane między innymi do zgazowania amin w procesie cold-box. Nagrzewanie oprzyrządowania rdzeniarskiego następuje przy pomocy prądu elektrycznego. Ważne jest przy tym aby gradient temperatury na powierzchni rdzennicy podczas procesu utwardzania był jak najmniejszy. Płyta strzałowa podobnie jak w maszynach strzelarskich używanych w procesach utwardzania na gorąco jest chłodzona wodą. Materiały stosowane do wykonania rdzennic to stal lub żeliwo.



Rys. 9. Stanowisko doświadczalne wykonywania rdzeni w technologii Cordis

9. Podsumowanie

Osiągnięto już wysoki poziom zastosowania spoiw nieorganicznych w produkcji rdzeni. Należy jednak jasno stwierdzić, że zdolność produkcyjna spoiw organicznych (wykonanie i składowanie rdzeni) nie została jeszcze całkowicie osiągnięta.

Spojwa nieorganiczne są na drodze przełomu. Nie można tu wprawdzie niedoceniać ponoszonych nakładów i wymagań stawianych maszynom i narzędziom. Pomyślnie wprowadzenie spoiw nieorganicznych w stosunku do dotychczasowych spoiw organicznych wymaga zmiany sposobu myślenia.

10. Literatura

- [1] Przyjazne środowisku spoiwa nieorganiczne do produkcji form i rdzeni, Wuppertal 14.11.2002: Giesserei 90 (2003) Nr 10 str. 42 – 46
- [2] M. Franken Giesserei (2003) nr 6 str 182 – 184
- [3] Giesserei –Rundschau nr.52 Dypl. Klaus Löchte, Ralph Boehm

SYSTEM NIEORGANICZNYCH SPOIW GEOPOLIMERYCZNYCH

Alois BURIAN¹,
Jiří NOVOTNÝ²

1. Nieorganiczne spoiwo geopolimeryczne

Do systemów spoiwowych dla mas do produkcji form i rdzeni zaliczane są także spoiwa na bazie polimerów mineralnych.

Polimery mineralne są materiałami nieorganicznymi należącymi do grupy alkalicznych krzemianów glinu, zawierającymi krzem i aluminium. Polimery mineralne według przebiegających na świecie badań składają się z łańcuchów SiO_4 i AlO_4 . W porównaniu z klasycznymi materiałami wykazują szereg zalet. Polimery mineralne przygotowane np. dla budownictwa osiągają kilkakrotnie wyższą wytrzymałość niż normalnie stosowany beton, są wysoko-ogniodoporne, wysokoodporne na działanie chemikaliów i czynników atmosferycznych.

W budownictwie proces utwardzania materiałów jest długofalowy i dlatego takiego sposobu wytwarzania polimerów mineralnych w odlewnictwie nie nadaje się do zastosowania w odlewnictwie, gdzie wymagany okres utwardzania wynosi od kilkudziesięciu sekund do kilku godzin.

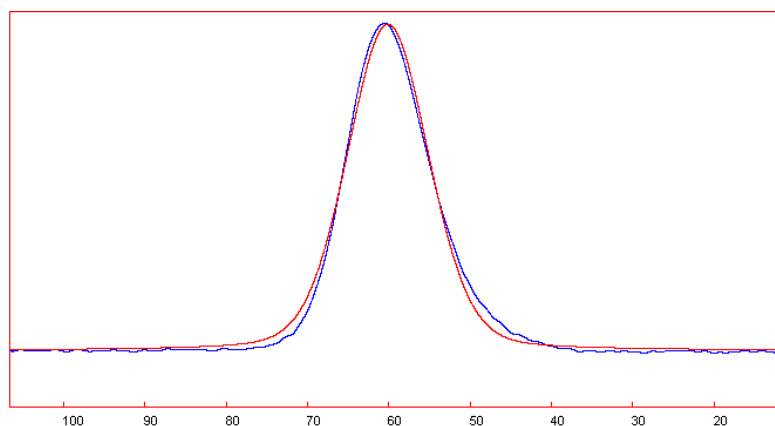
Do zastosowania w odlewnictwie jest do dyspozycji spoiwo na bazie polimerów mineralnych określane jako RUDAL.

Jego wykorzystanie w odlewnictwie (uwarunkowane potrzebną szybkością wytwarzania wytrzymałego polimeru) zapewnia to, że spoiwem jest prekursor na bazie polimerów mineralnych. To zapewnia dostateczną prędkość utwardzania wymaganą przy produkcji form i rdzeni odlewniczych.

Badania właściwości spoiwa RUDAL metodą spektroskopii w podczerwieni potwierdziły, że w strukturze spoiwa RUDAL znajdują się pasma absorpcyjne odpowiadające wibracjom Si-O-Al. Do badań struktury krzemianów glinu nadaje się również nuklearny rezonans magnetyczny. W przypadku krzemianów glinu przesuw chemiczny NMR^{29}Si jest uzależniony przede wszystkim od stopnia zastąpienia w siatce krzemu przez aluminium. Przeprowadzone pomiary spoiwa RUDAL potwierdzają sprzężenie między aluminium i krzemem. W celu głębszej oceny struktury spoiwa RUDAL na bazie polimerów mineralnych prowadzono również badania spektrum NMR^{27}Al . Według literatury przy przesuwie chemicznym 55 ± 5 ppm rezonans wykazuje konfigurację tetraedryczną Al i typu Al Q^4 (4 Si). Na rys. nr 1 przedstawione spektrum NMR^{27}Al spoiwa RUDAL, w pełni potwierdza sprzężenie aluminium i krzemu. Powyższy fakt w podobny sposób potwierdza spektrogram NMR^{27}Al spoiwa RUDAL z utwardzaczem typoszeregu SA.

¹ Ing, CSc, SAND TEAM, spol.s r.o. (Spółka z o. o.), Brno

² Ing, , SAND TEAM, spol.s r.o. (Spółka z o. o.), Brno



Rys. nr 1 Spektrogram NMR ^{27}Al spoiwa RUDAL

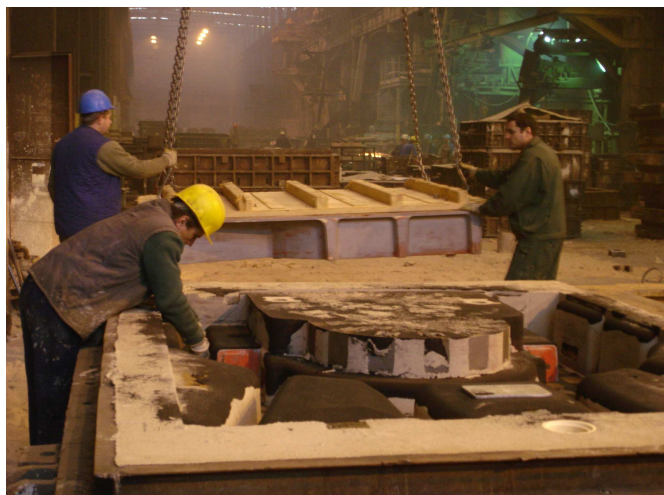
W znaczący sposób na właściwości spoiwa RUDAL wpływa to, że spoiwo posiada strukturę amorficzną (nie posiada struktury krystalicznej). Ma to przede wszystkim wpływ na właściwość spoiwa umożliwiającą łatwą regenerację mieszanki.

Masy samoutwardzalne

Spoivo RUDAL A można stosować do przygotowania mas samoutwardzalnych do produkcji form i rdzeni. Jest to przezroczysty lepki płyn o niskim stopniu polimeryzacji. Jedną z możliwości jak zwiększyć stopień polimeryzacji jest kataliza chemiczna. Pod wpływem działania płynnego utwardzacza wzrasta stopień polimeryzacji i dochodzi do wytwarzania polimeru z wysoką właściwością wiązania. Do utwardzania mas samoutwardzalnych ze spoiwem na bazie polimerów mineralnych jest do dyspozycji kilka utwardzaczy umożliwiających nastawić czas przeróbki mas samoutwardzalnych od jednej do 90 minut.

Charakter utwardzanego polimeru umożliwia stosowanie niskich dawek spoiwa. Możliwość niskiego dawkowania spoiwa na bazie polimerów mineralnych potwierdzają także długoletnie doświadczenia z odlewni, w których system spoiw na bazie polimerów mineralnych jest z sukcesami stosowany. W masach z nowym piaskiem w warunkach produkcyjnych jest stosowane dawkowanie 1,6 do 1,8 hm.d. spoiwa a w masach zawierających od 75 do 100 % masy wtórnej stosowano dawkowanie 1,8 do 2,0 hm d. spoiwa.

Struktura otoczki ziarnistej umożliwia łatwą regenerowalność masy. Doświadczenia uzyskane w warunkach eksploatacyjnych potwierdzają, że można zastosować regenerację wibracyjną do regeneracji mas odnawialnych ze spoiwem organicznym. Potwierdzono, że jak w przypadku regeneracji mas ze szkłem organicznym nie trzeba utwardzać gelu. Wymagana jakość regeneratu jest zapewniona bez ogrzewania masy wtórnej. Niniejsze spoiwo jest wykorzystywane do produkcji form i rdzeni w szeregu odlewni w Republice Czeskiej i w Polsce oraz w innych odlewniach. Niektóre przykłady zastosowania przedstawiają rys. nr 2 do 4.



Rys. nr 2 Forma z masy samoutwardzalnej z RUDALEM A w polskiej odlewni stali. Dawkowanie 1,7 – 2,0 % spoiwa, 50 % regeneratu. Czas rozbierania 30 – 120 min. Masa odlewów stalowych do 6 ton. Technologia jest stosowana od ponad roku.



Rys. nr 3 Odlew stalowy wykonany do formy z masy samoutwardzalnej z RUDALEM A w odlewni amerykańskiej. Dawkowanie 1,6 – 2,0 % spoiwa, 50 % regeneratu. Czas rozbierania 20 min.



Rys. nr 4 Forma z masy samoutwardzalnej z RUDALEM A niemieckiej odlewni aluminium. Dawkowanie 1,8 – 2,0 % spoiwa.

2. Produkcja rdzeni utwardzanych przy pomocy CO₂

Szereg odlewni przy produkcji rdzeni stosuje do utwardzania CO₂ w postaci gazowej, jest to metoda posiadająca szereg zalet. Jako spoiwo jest stosowane szkło wodne lub alkaliczna żywica rezolowa. Masy ze szkłem wodnym po utwardzeniu osiągają wytrzymałość na ścinanie 0,25 do 0,35 Mpa, masa z żywicą rezolową - CO₂ miewają wytrzymałość na ścinanie w granicach 0,3 do 0,6 MPa. W warunkach produkcyjnych w celu osiągnięcia wyżej wymienionych wytrzymałości do mas ze szkłem wodnym dodaje się 4,0 do 5,0 hm.d. spoiwa a do mas z żywicą rezolową - CO₂ 2,5 do 3,0 hm.d. spoiwa.

Oprócz wymienionych systemów spoiwowych odlewnie do utwardzania CO₂ mogą zastosować system spoiwowy na bazie polimerów mineralnych ze spoiwem RUDAL A. W celu osiągnięcia optymalnych właściwości mas utwardzanych CO₂ oprócz spoiwa RUDAL A jest stosowany aktywator przyspieszający.

Do piasków Šajdkove Humence i Grudzen Las optymalna masa posiada następujący skład:

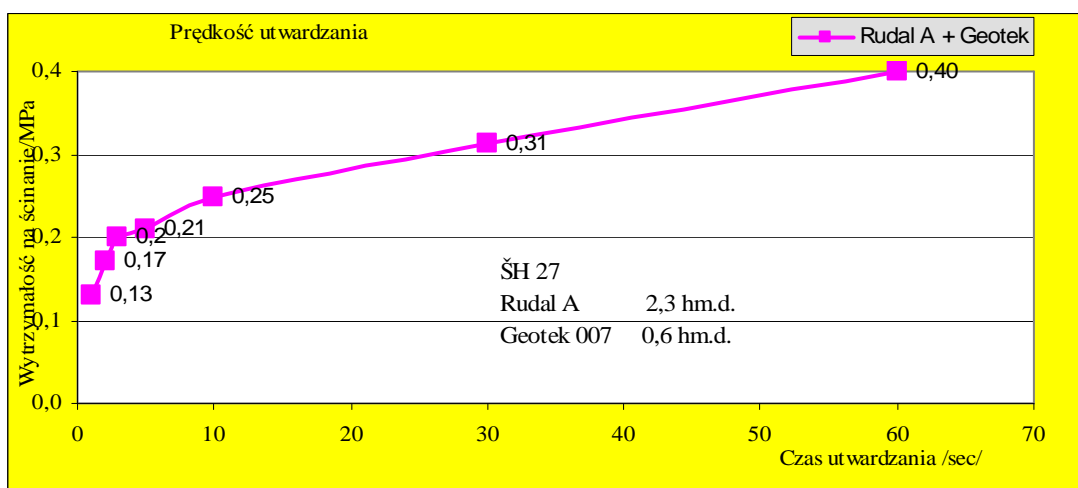
Piasek	100 % wagowych
RUDAL A	2,3 % wagowych
Geotek 007	0,4 do 0,6 % wagowych

Dawkowanie niniejszego spoiwa nieorganicznego w porównaniu do szkła wodnego jest w przybliżeniu o połowę niższe i jest na poziomie dawkowania rezolu organicznego.

Wytrzymałość na ścinanie masy o niniejszym składzie tuż po utwardzeniu wynosi 0,3 do 0,4 MPa. W okresie magazynowania rdzeni wytrzymałość wzrasta do wartości 0,5 do 0,6 MPa. Rdzenie można więc długookresowo składować bez uszczerbku dla ich jakości i wytrzymałości. W czasie długiego składowania nie stwierdzono także oznak "wykwitania" plam powierzchniowych jak w przypadku mas ze szkłem wodnym.

Dodanie przyspieszacza do masy zapewnia wysoką prędkość utwardzania CO₂. Z rys. nr 5 wynika, że już po jednej sekundzie utwardzania próbki wytrzymałość na ścinanie wynosiła 0,13 MPa.

To w sposób znaczący umożliwia obniżenie zużycia CO₂.



Rys. nr 5 Masa z aktywatorem przyspieszającym przy utwardzaniu CO₂

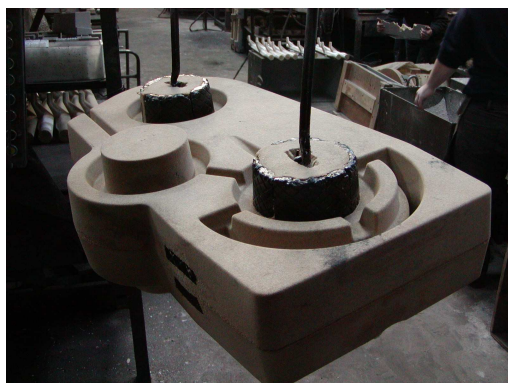
Ze względu na swój charakter otoczka ziarnista powstała na bazie polimerów mineralnych po wykonaniu odlewu zapewnia lepszą rozkruszalność niż np. masy ze szkłem wodnym. W przypadku mas ze szkłem wodnym wstępuje zjawisko tzw. pierwszego maksimum wytrzymałości resztkowej przy temperaturach 200 °C. Również masy typu rezol - CO₂ przy wymienionej temperaturze wykazują resztkową wytrzymałość

gorszą rozkruszalność. Masy ze spoiwem na bazie polimerów mineralnych w wymienionym zakresie temperatur nie posiadają żadnej podwyższonej wytrzymałości. Również badania na odlewach przeprowadzone w warunkach produkcyjnych potwierdziły lepszą kruszalność nie tylko w porównaniu do mas ze szkłem wodnym, ale również w porównaniu do rezol - CO₂.

W przypadku mas ze szkłem wodnym tzw. drugie maksimum wytrzymałości resztkowej występuje przy temperaturze 800 °C. Także przy tej temperaturze masy ze spoiwem na bazie polimerów mineralnych wykazują niższą wytrzymałość resztkową. Dla tych temperatur zaleca się stosowanie przyspieszacza GEOTEK 005, który umożliwia uzyskanie aż pięciokrotnie niższej wytrzymałości resztkowej w porównaniu do mas ze szkłem wodnym.

Bardzo ważną właściwością mas ze spoiwem na bazie polimerów mineralnych jest to, że masy nie są niebezpiecznym odpadem.

Niektóre przykłady zastosowania mas ze spoiwem RUDAL do produkcji rdzeni utwardzanych CO₂ są przedstawione na rysunkach nr 6 do 9.



Rys. nr 6 Rdzeń dla odlewu aluminiowego. Dawkowanie spoiwa RUDAL A 2,6 %, zastosowano 50 % regeneratu mechanicznego



Rys. nr 7 Rdzeń utwardzony CO₂ ze spoiwem RUDAL A dla odlewu aluminiowego w słowackiej odlewni aluminium



Rys. nr 8 Rdzenie ze spoiwem RUDAL A utwardzone CO₂ w czeskiej odlewni żeliwa szarego. Dawniej stosowano technologię rezol - CO₂



Rys. nr 9 Rdzenie utwardzane CO₂ dla odlewów brązowych. Dawkowanie 2,5 % RUDAL A , 0,6 % GEOTEK 007

3. Podsumowanie

System spoiw na bazie polimerów mineralnych umożliwia odlewniom wprowadzenie ekologicznej i ekonomicznej produkcji form i rdzeni tak z mas samotwardniejących, z mas utwardzanych przy pomocy tradycyjnych metod utwardzania przy zastosowaniu CO₂.

WYBRANE ASPEKTY PROJEKTOWANIA REGENERATORÓW ODŚRODKOWYCH TALERZOWYCH O DZIAŁANIU CIĄGŁYM

Mariusz ŁUCARZ ¹

1. Wstęp

W regeneratorze odśrodkowym, głównie dzięki działaniu sił tarcia między ziarnami masy oraz w wyniku tarcia ziarn o powierzchnie robocze urządzeń, a także udarowego oddziaływania ziarn o powierzchnię pobocznicy obwodowej zachodzą operacje: ocierania, ścierania, kruszenia [1, 2].

Przyjęta koncepcja regeneracji ma na celu intensyfikację operacji ścierania i ocierania, a ograniczenie niekorzystnej operacji kruszenia, charakterystycznej i dominującej w dotychczasowych rozwiązaniach regeneratorów odśrodkowych. Zwiększony udział operacji kruszenia sprawia, że naruszana jest nie tylko warstewka spoiwa, ale także sama osnowa, co w efekcie zmniejsza uzysk osnowy i jej jakość. W zmodyfikowanym regeneratorze talerzowym wydłużenie drogi wzajemnego oddziaływania ziarn, a także zwiększenie pracy tarcia o powierzchnię talerza, uzyskuje się w wyniku doboru odpowiedniego kształtu talerza i pobocznicy obwodowej oraz wzajemnego ich usytuowania. Struga materiału schodząca z obwodu talerza jest wprowadzana do krzywoliniowej kierownicy w ten sposób, że następuje ograniczenie zjawiska udarowego.

2. Podstawy teoretyczne konstruowania bezudarowych regeneratorów odśrodkowych

Własna koncepcja realizacji procesu regeneracji przeniesiona na konstrukcję regeneratora odśrodkowego przyjmuje następujące założenia [3]:

- 1) Talerz regeneratora odśrodkowego jest traktowany nie tylko jako element konstrukcyjny nadający cząsteczkom masy przyspieszenie, lecz także jako efektywny zespół roboczy, na którym realizowana jest pierwsza faza regeneracji ścierniej. W związku z tym w celu zwiększenia intensywności ścierania podczas przemieszczania się ziarn po powierzchni talerza przeprowadzono analizę teoretyczną i numeryczną umożliwiającą wybór optymalnego kształtu powierzchni.
- 2) Druga faza uwalniania ziarn osnowy z otoczki materiału wiążącego odbywa się w pobocznicy obwodowej o krzywoliniowym zarysie. Przyjęty kształt pobocznicy obwodowej ma na celu całkowite wyeliminowanie udarowego charakteru zetknięcia ziarn z tym elementem i zastąpienie go procesem ściernym.
- 3) Jako kryterium oceny efektu symulowanych zmian kształtu talerza i pobocznicy obwodowej, przyjmuje się pracę wykonaną przez ziarno w czasie jego ruchu w zespole regeneracyjnym, zależną od siły tarcia i długości wykonywanej drogi.

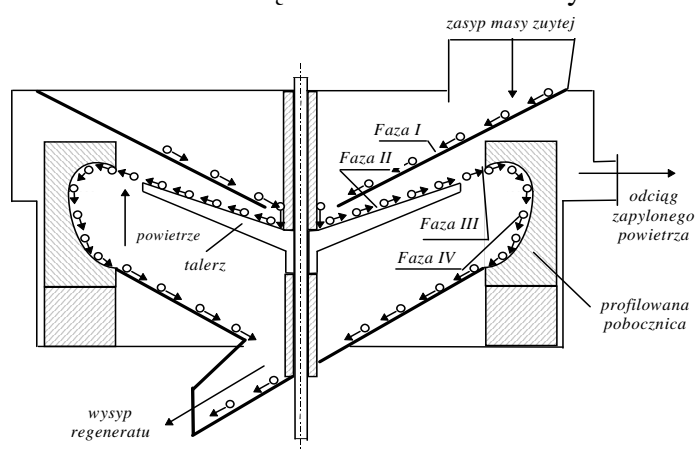
Te dwa ostatnio wymienione aspekty mają również pełną, oryginalną podbudowę teoretyczną, co wykazano w pracach [3, 4].

W regeneratorze odśrodkowym najlepszy efekt jest uzyskiwany wówczas, gdy ziarno masy w wyniku operacji oczyszczających nabiera kształtu kulistego, co preferuje operacje regeneracyjne prowadzące do zaokrąglenia ziarn osnowy. Warunkiem równomiernego oczyszczania ziarn z materiału wiążącego w regeneratorze odśrodkowym jest ruch tych

¹ dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, Kraków, eumar@agh.edu.pl

ziarn nie tylko wzdłuż promienia, lecz także prostopadle do promienia talerza. Obie składowe ruchu powodują toczenie się ziarn wokół różnie zorientowanych osi obrotu. Wywołany w takim ruchu układ sił tarcia stwarza warunki do równomiernego oczyszczenia całej powierzchni, a jednocześnie do zaokrąglania ziarn.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat przemieszczania się cząstek masy poddanych obróbce regeneracyjnej w regeneratorze odśrodkowym o zmniejszonym efekcie uderowym, natomiast o maksymalnym efekcie ścierająco-ocierającym. Wyeksponowano mechanizm procesu przebiegający w pojedynczym członie urządzenia, co ulega stosownemu zwielokrotnieniu w rozwiązaniach wielocłonowych.



Rys. 1. Schemat działania pojedynczego segmentu regenerującego bezударowego regeneratora odśrodkowego.

W dotychczasowych rozważaniach teoretycznych mających na celu matematyczny opis ruchu ziarna [5, 6] nie została uwzględniona siła bezwładności pochodząca od przyspieszenia Coriolisa. Działanie tej siły powoduje, że pojedyncze ziarno masy porusza się torem zakrzywionym na powierzchni talerza regeneratora odśrodkowego. Pominięcie w obliczeniach przyspieszenia Coriolisa powoduje, że obliczona droga przemieszczania się ziarna masy po powierzchni talerza jest znacznie mniejsza od rzeczywistej. Wobec tego faktyczna intensywność operacji regenerujących, odniesiona do rzeczywistej drogi ziarna na powierzchni talerza jest mniejsza, niż wynikało by to z analizy podanej przez Zajgerowa [6].

Wskutek ruchu obrotowego talerza ziarna masy zużytej, podawane w rejonie osi obrotu przemieszczają się w wyniku działania siły odśrodkowej do obrzeża talerza. Siły bezwładności działające w układzie ziarno-talerz, powodują równocześnie odchylenie toru ziarna od promienia i jego ruch po torze zakrzywionym.

Ziarna wyrzucane z talerza w kierunku pobocznic obwodowej przelatują szczelinę pomiędzy talerzem a pobocznica obwodową i wpadają na powierzchnię pobocznic obwodowej. Przelot ziarn przez szczelinę umożliwia oddzielenie drobnych frakcji, będących efektem ścierania otoczek materiału wiążącego. Wielkość cząstek odciąganej frakcji można regulować za pomocą zmiany prędkości przepływu powietrza przez szczelinę.

3. Równanie trajektorii ziarna na talerzu o dowolnym profilu powierzchni roboczej

Analogicznie do modeli matematycznych opracowanych przez innych autorów [5, 6] przeprowadzono analizę ruchu pojedynczego ziarna. Przyjęto, że dla prawidłowego przemieszczania ziarna po powierzchni talerza wypadkowa siła działająca na nią powinna być większa od zera.

Przyjmując, że powierzchnia talerza, po której przemieszcza się wyodrębnione ziarno masy, opisuje funkcja $z = g(x, y) = f(r)$, to równanie tej powierzchni rzutuje na przemieszczanie się ziarna. W wyniku przeprowadzonej analizy pojedynczego ziarna, po przekształceniach uwzględniających siłę pochodzącą od przyspieszenia Coriolisa, wyznaczenie współrzędnych x i y , przy znanym równaniu więzów (równanie powierzchni talerza), można zapisać równaniem

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = [(\omega^2 \sqrt{x^2 + y^2} - \mu g) \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{df}{dr})^2}} - (\mu \omega^2 \sqrt{x^2 + y^2} + g) \frac{\frac{df}{dr}}{\sqrt{1 + (\frac{df}{dr})^2}}] \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{df}{dr})^2}} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} + 2\omega v_s \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \\ \frac{d^2y}{dt^2} = [(\omega^2 \sqrt{x^2 + y^2} - \mu g) \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{df}{dr})^2}} - (\mu \omega^2 \sqrt{x^2 + y^2} + g) \frac{\frac{df}{dr}}{\sqrt{1 + (\frac{df}{dr})^2}}] \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{df}{dr})^2}} \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} - 2\omega v_s \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

ω - prędkość obrotowa talerza,

μ - współczynnik tarcia,

g - przyspieszenie ziemskie,

$\frac{df}{dr}$ - pochodna przyjętej funkcji profilu talerza $z = f(x, y)$,

x, y - współrzędne przemieszczania się ziarna,

Prędkość v_s określona jest ze wzoru:

$$v_s = \sqrt{(v_r \cdot \cos \alpha)^2 + v_\varphi^2} \quad (2)$$

gdzie:

α – kąt pomiędzy styczną do powierzchni talerza w danym punkcie i prostopadłą do jego osi obrotu, rad

v_φ – prędkość transwersalna, m/s.

Prędkość transwersalną określa zależność (3)

$$v_\varphi = \omega \cdot r \quad (3)$$

natomiast prędkość promieniowa (radialna) liczona jest z zależności (4)

$$v_r = \sqrt{\omega^2 \cdot \frac{1 - \mu \cdot \frac{df}{dr}}{\sqrt{1 + (\frac{df}{dr})^2}} \cdot (r^2 - r_{r0}^2) - 2 \cdot g \cdot \frac{\mu + \frac{df}{dr}}{\sqrt{1 + (\frac{df}{dr})^2}} \cdot (r - r_{r0}) + v_{r0}^2} \quad (4)$$

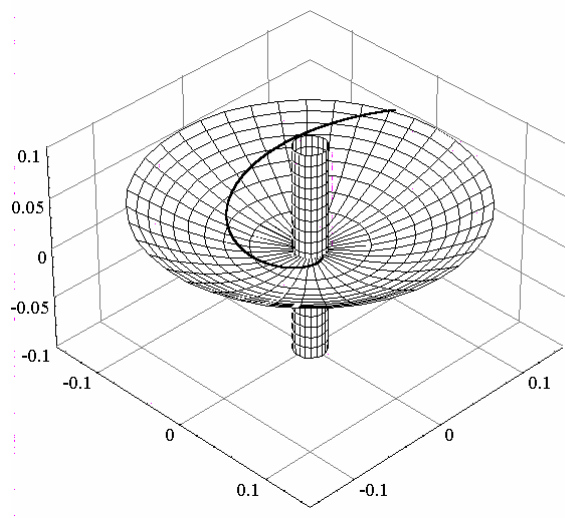
r – promień położenia ziarna w danym momencie, m,

r_{r0} - promień, od którego rozpoczyna się ruch ziarna (promień piasty), m,

v_{r0} – prędkość początkowa, m/s.

W celu rozwiązania równań (1) należy skorzystać z metod przybliżonych rozwiązywania równań różniczkowych. W prezentowanym artykule skorzystano z metody Rungego-Kutty [7].

Na rysunku 2 przedstawiono przykładową trajektorję obliczoną numerycznie z zależności (1), gdy profil talerza jest funkcją paraboloidalną $z = a \cdot x^2$.



Rys. 2. Trajektoria ziarna na powierzchni talerza o tworzącej parabolicznej [3].

Ziarno masy przemieszczając się po powierzchni talerza wykonuje pracę tarcia, która wywołuje efekt oczyszczania jej z otoczki materiału wiążącego. Praca tarcia zależy od składowej normalnej N , z jaką ziarno masy jest dociskane do powierzchni talerza, współczynnika tarcia μ oraz od drogi, na której następuje ścieranie materiału wiążącego z powierzchni osnowy. Wzór na całkowitą pracę tarcia można przedstawić w następującej postaci

$$A_{Tr} = \sum_{i=1}^n (\mu \cdot m_{cz} \cdot (\frac{g}{\sqrt{1 + (\frac{df}{dr})^2}} + \omega^2 \cdot \sqrt{x_n^2 + y_n^2} \cdot \frac{df}{dr}) \cdot \sqrt{(x_n - x_{n-1})^2 + (y_n - y_{n-1})^2 + (z_n - z_{n-1})^2}) \quad (5)$$

gdzie: m_{cz} - masa ziarna piasku.

Wydajność regeneratora można określić ze wzoru

$$W_r = 7,2 \cdot \pi \cdot r_t \cdot d_z \cdot h \cdot \kappa \rho \cdot v_r \quad (6)$$

gdzie:

d_z - średnica ziarna,

ρ - masa właściwa ziarna (gęstość),

h - liczba warstw masy,

κ - współczynnik wypełnienia strugi, zmniejszający wydajność regeneratora równy 0,79,

r_t - promień talerza,

v_r - prędkość promieniowa z jaką ziarna masy schodzą z krawędzi talerza regeneratora.

Aby wywołać ciągły, niezaburzony przepływ strugi masy w regeneratorze, realizującym proces ścierno-ocierny, wytypowano pobocznicę obwodową o zarysie spirali logarytmicznej, której równanie jest następujące

$$r_s = r_{s0} \cdot e^{\varphi \cdot tg \gamma} \quad (7)$$

gdzie:

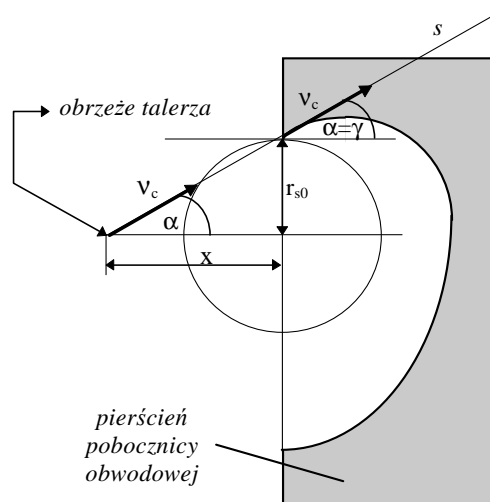
r_s - promień spirali,

r_{s0} - promień piasty, początkowy promień rozwinięcia spirali,

φ - kąt rozwinięcia spirali,

γ - kąt pomiędzy styczną do spirali w danym punkcie a normalną do promienia wodzącego (rys. 3).

W oparciu o analizę przedstawioną w pracy [8], przyjęto w podniesieniu do innego procesu, że pobocznica obwodowa ma profil spirali logarytmicznej, charakteryzujący się tym, że kąt pomiędzy styczną do spirali w danym punkcie a normalną do promienia wodzącego ma wartość stałą równą γ . Kształt ten przy stycznym wejściu ziarna masy do wnęki obwodowej mającej profil spirali, w początkowym etapie ruchu sprawia, że ziarno toczy się lub ślizga po jej powierzchni, i nie następuje czołowe zderzenie z powierzchnią pobocznicą obwodowej. Warunkiem łagodnego wprowadzenia ziarna na powierzchnię obwodnicy jest by kąt wyrzucenia ziarna masy zużytej z obrzeża talerza był równy kątowi natarcia spirali logarytmicznej $\alpha = \gamma$ (por. rys. 3).



Rys. 3. Fragment przekroju pobocznic obwodowej z wnęką roboczą o profilu spirali logarytmicznej. (Zilustrowano warunek zgodności kąta α i kąta γ , pod jakim ziarno wchodzi na pobocznice obwodową).

4. Dobór kształtu talerza w aspekcie maksymalizacji pracy tarcia w układzie talerz - pobocznica obwodowa

Z punktu widzenia maksymalizacji pracy tarcia w układzie talerz - pobocznica obwodowa, przeprowadzona została analiza wpływu pobocznic na sumaryczną pracę tarcia. W analizie przyjęto, że parametry konstrukcyjne pobocznic są niezmiennie, natomiast zmianie podlegają kształty talerza, dobierane pod kątem maksymalizacji pracy tarcia w układzie talerz - pobocznica obwodowa. Spełnienie warunku, że kąt zejścia ziarna z obrzeża talerza jest równy kątowi jego wejścia do wnęki pobocznic obwodowej wymaga zróżnicowania wysokości talerza, w zależności od jego kształtu.

Analizą porównawczą objęto talerz stożkowy prostoliniowy i paraboloidalny. Analiza uzyskanych wartości pozwala przyjąć założenie, że rozmiar (średnica) parabolicznej części talerza o zmienionym profilu powinien zapewnić wykonanie przez ziarno co najmniej takiej samej pracy jak na powierzchni talerza stożkowego. Pozostała część talerza

(obrzeże) powinna być wyprofilowana w ten sposób, aby został uzyskany kąt zejścia α , dostosowany do kąta $\gamma = 30^\circ$ poboczniczy obwodowej.

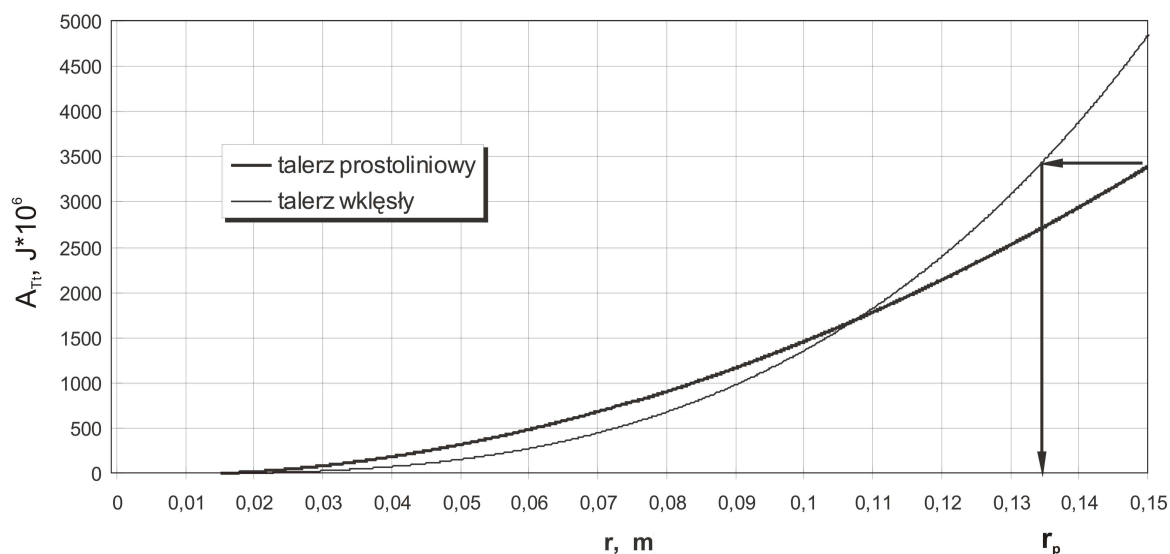
Matematyczne rozwiązanie problemu wymaga zastosowania funkcji sklejanych, w których mamy do czynienia z punktem sklejania (przebiegu) funkcji. W rozwiązaniach przyjęto funkcje paraboliczne, z których jedna symetryczna względem osi Z wyznacza główny profil talerza, natomiast druga przesunięta względem osi Z i obrócona ramionami w dół, wyznacza profil obrzeża.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że zarys talerza regeneratora rozpatrywanego wzdłuż promienia powinien być opisany w pierwszej części funkcją paraboloidalną, natomiast w drugiej taką funkcją, której styczna do obrzeża talerza będzie nachylona do osi OR pod kątem $\alpha = 30^\circ$.

Na rysunku 4 zaznaczono, że obliczona całkowita praca tarcia na powierzchni talerza stożkowego jest równa pracy tarcia uzyskiwanej dla pewnej, mniejszej średnicy talerza paraboloidalnego. Od tego promienia oznaczonego na rysunku 4 przez r_p profil talerza powinien być tak ukształtowany, aby zapewnić odpowiedni kąt zejścia ziarna masy z talerza. To z kolei powinno zagwarantować odpowiednią prędkość zejścia ziarna masy oraz założoną wydajność regeneratora. Od punktu zmiany charakteru funkcji opisującej profil talerza, przemieszczające się ziarno wykonuje dodatkową pracę tarcia, zwiększając tym samym efekt oczyszczania ziarna osnowy z otoczek materiału wiążącego. Jednocześnie wysokość tak skonstruowanego talerza będzie mniejsza od wysokości talerza paraboloidalnego.

Punktem wyjścia do optymalizacji kształtu talerza jest połączenie profilu o tworzącej wklęsłej - (w środkowej części talerza) i tworzącej wypukłej lub prostoliniowej (w rejonie jego obrzeża). Przyjęto następujące założenia dotyczące kształtu talerza w celu optymalizacji jego parametrów roboczych:

$$\begin{cases} z = q \cdot r^2 & r_{i0} < r \leq r_p \\ z = -a_1 \cdot r^2 + b_1 \cdot r + c_1 & r_p < r \leq r_t \end{cases} \quad (8)$$



Rys. 4. Schemat wyznaczenia wartości promienia, od której następuje zmiana profilu talerza.

Aby uzyskać zamierzony końcowy efekt muszą być spełnione następujące warunki
— pochodne dwóch analizowanych funkcji w punkcie sklejania są sobie równe

$$2 \cdot q \cdot r_p = -2 \cdot a_1 \cdot r_p + b_1 \quad (9)$$

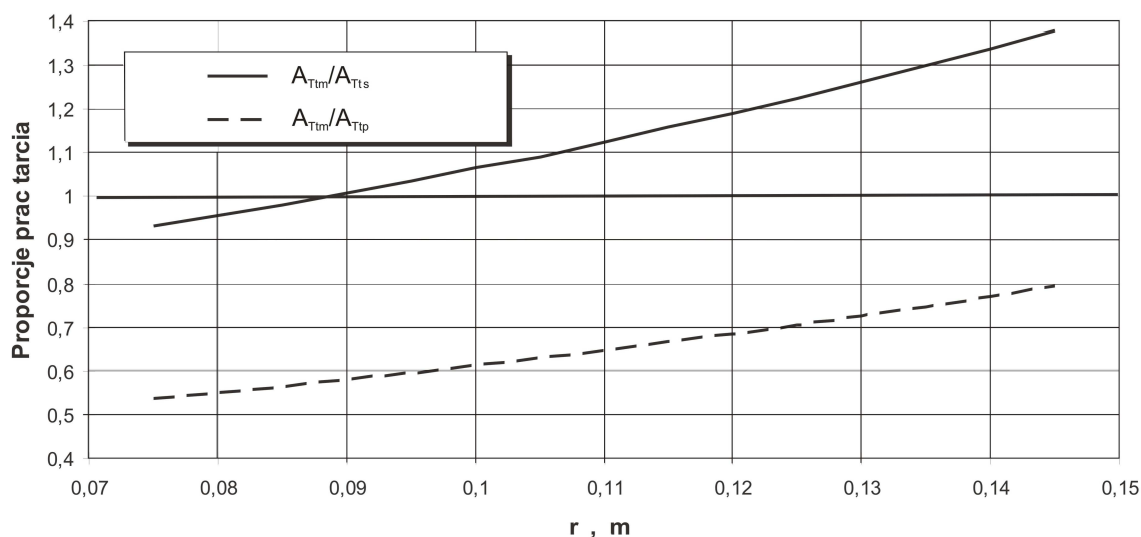
— wartość funkcji w punkcie sklejenia są sobie równe

$$q \cdot r_p^2 = -a_1 \cdot r_p^2 + b_1 \cdot r_p + c_1 \quad (10)$$

— zgodnie z przyjętymi założeniami pochodna funkcji na obrzeżu talerza powinna być równa tangensowi 30° , co zapewni uzyskanie odpowiednich warunków zejścia ziarna z talerza

$$-2 \cdot a_1 \cdot r_i + b_1 = \frac{\sqrt{3}}{3} \quad (11)$$

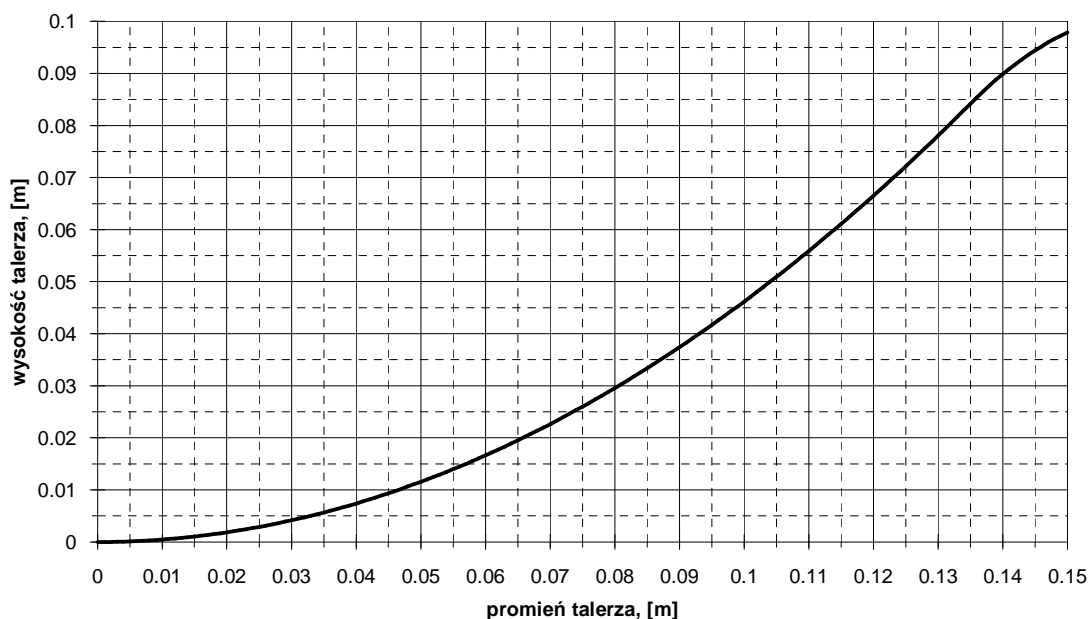
Stosunek pracy tarcia określonej dla dwóch podstawowych kształtów talerza do pracy tarcia uzyskanej na talerzu o zmodyfikowanym profilu przedstawiony w zależności od położenia na promieniu punktu sklejenia funkcji przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Stosunki prac tarcia w zależności od promienia sklejenia funkcji (A_{Tm} - praca na powierzchni talerza zmodyfikowanego, A_{Tts} - praca na powierzchni talerza stożkowego $H = 0,087$ m, A_{Ttp} - praca na powierzchni talerza paraboloidalnego o wysokości $H = 0,087$ m).

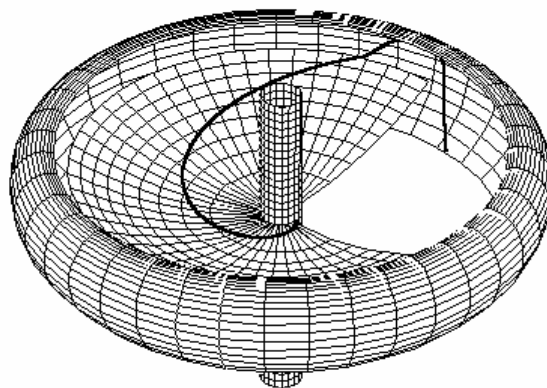
W celu analizy wpływu punktu sklejenia funkcji na badane parametry (praca tarcia, droga ziarna na powierzchni talerza, wysokość talerza) został opracowany algorytm oraz program komputerowy, umożliwiający przeprowadzenie obliczeń.

Na rysunku 6 przedstawiono zoptymalizowany, przykładowy profil talerza, na którym uzyskuje się dużą wartość pracy tarcia, jak również odpowiednią prędkość zejścia ziarna z obrzeża talerza. Prędkość ta będąca równocześnie prędkością wejściową ziarna do wnęki poboczniczy obwodowej na znaczący wpływ na realizowany proces ścierny.



Rys. 6. Przykładowy zoptymalizowany profil talerza dla maksymalnej wartości pracy tarcia cząstek masy oraz maksymalnej prędkości zejścia ziarna z obrzeża talerza.

Zapis przykładowej teoretycznej trajektorii według własnego opracowanego modelu prezentuje rysunek 7.

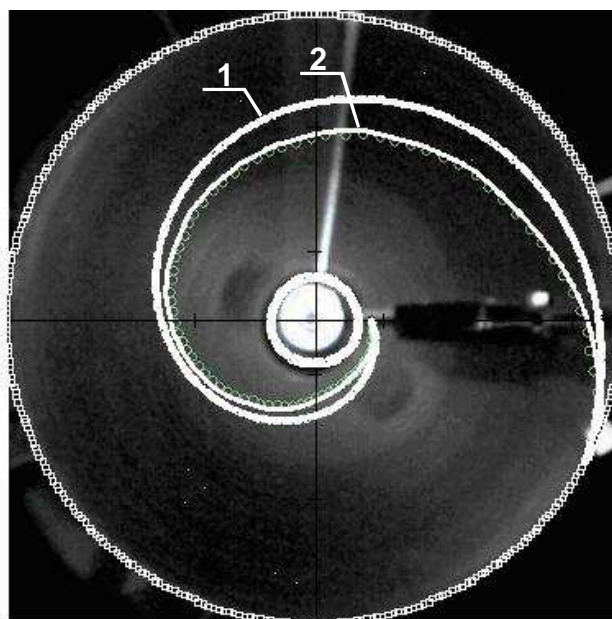


Rys. 7. Przykładowa trajektoria teoretyczna cząstki w układzie jednostopniowym regeneratora mechanicznego odśrodkowego [3].

5. Weryfikacja doświadczalna modelu matematycznego do projektowania regeneratorów odśrodkowych

Na rysunku 8 przedstawiono dwie trajektorie przemieszczania się cząstki po powierzchni talerza o zoptymalizowanym profilu. Jeden z wyznaczonych torów ruchu cząstki (1) jest wynikiem obliczeń teoretycznych wg powyższego modelu, natomiast drugi (2) powstał w wyniku zapisu kamerą cyfrową firmy PHOTRON, typ FASTCAM Super 10K, umożliwiającą rejestrację szybko zmieniających zjawisk – szybkość zapisu 3000 klatek/s.

Rejestracje kamerą wykonano dla mosiężnej sześcienniej kostki o boku 0,01 m, i masie $m = 0,008177$ kg, dla prędkości obrotowej $\omega = 91.7$ rad/s. Pełna analiza weryfikacji modelu jest aktualnie opracowywana [9].



Rys. 8. Weryfikacja rzeczywistego toru cząstki (2) z torem teoretycznym (1) wyliczonym wg modelu matematycznego dla prędkości $\omega = 91.7$ rad/s - złożenie trajektorii zarejestrowanej kamerą i toru teoretycznego wyliczonego według modelu matematycznego.

Można zauważyć, że zestawione tory nieznacznie się różnią na trasie przepływu, natomiast są prawie takie same na obrzeżu talerza. Powstałe rozbieżności najprawdopodobniej są wynikiem niedokładnego wykonania talerza, który nie jest idealnym odwzorowaniem teoretycznej powierzchni przyjętej do obliczeń. Niemniej otrzymane wyniki pozwalają twierdzić, że zaprezentowany model matematyczny w analizowanym doświadczeniu przedziale może służyć z powodzeniem do projektowania odśrodkowych regeneratorów mechanicznych.

6. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza, która jest fragmentem większego opracowania, stwarza podstawy projektowania regeneratorów talerzowych odśrodkowych o działaniu ciągłym według koncepcji, w której ograniczone zostało zjawisko udaru ziarna o pobocznice, powodujące kruszenie osnowy i przedwczesne jej zużycie. Rozszerzony model teoretyczny ruchu cząstki wprowadza uzupełnienie uwzględniające działanie przyspieszenia Coriolisa. Pominięcie go w wcześniejszych modelach np. Zajgerowa powoduje, że obliczona droga przemieszczania się ziarna masy po powierzchni talerza jest znacznie mniejsza od rzeczywistej. Wobec tego faktyczna intensywność operacji regenerujących, odniesiona do rzeczywistej drogi ziarna na powierzchni talerza jest mniejsza, niż wynikało by to z analizy podanej przez Zajgerowa.

Potwierdza się na podstawie wykonanych doświadczalnych rejestracji: z jednej strony przemieszczanie cząstki po dłuższej drodze, co świadczy o wykonanej większej pracy tarcia, a z drugiej strony odpowiednie ukształtowanie obrzeża talerza, przyspiesza cząstkę nadając jej tym samym możliwie dużą prędkość zejścia z talerza, co w odniesieniu do strugi masy zużytej wpływa na intensyfikację regeneracji we wnęce pobocznic obwodowej.

Literatura

- [1] Opracowanie koncepcji udoskonalonego urządzenia do suchej regeneracji masy /II etap/. Praca naukowo-badawcza nr 3.371.33 AGH, Kraków 1987.
- [2] Bodzoń L., Dańko J., Żurawski L.: Elements of the process of waste sand dry reclamation. Archives of metallurgy, vol. 34, Issue 3, Kraków 1989.
- [3] Łucarz M.: Opracowanie podstaw konstrukcji regeneratorów odśrodkowych dla mas formierskich. Praca doktorska, AGH Wydział Odlewnictwa, Kraków 1996.
- [4] Dańko J., Dańko R., Łucarz M.: Procesy i urządzenia do regeneracji osnowy zużytych mas formierskich. Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, Kraków 2007.
- [5] Pająk A.: Regeneracja osnowy ciekłej masy samoutwardzalnej metodą suchą, z wykorzystaniem procesu ścierania. Praca doktorska, Instytut Odlewnictwa, Kraków 1979.
- [6] Zajgerow I. B.: Maszyny i awtomatizacja litiejnego proizwostwa. Mińsk, „Wyszejszaja szkoła”, 1969.
- [7] Ralston A.: Wstęp do analizy numerycznej. PWN, Warszawa 1983.
- [8] Bodzoń L., Dańko J., Żurawski L.: Podstawy teorii maszyn odlewniczych. Skrypt AGH 919, Kraków 1984.
- [9] Łucarz M.: Podstawy teoretyczne i badania procesu regeneracji w odśrodkowych regeneratorach bezudarowych. (Materiały autorskie).

WYSOKOWYTRZYMAŁE ODLEWNICZE STOPY NA OSNOWIE ALUMINIUM

Stanisław Rządkosz¹
Leopold Staszczak²

1. Wprowadzenie

Stopy oparte o układy Al-Cu i Al-Zn-Mg-Cu są podstawą wieloskładnikowych kompozycji składów chemicznych tworzyw odlewniczych charakteryzujących się szczególnie wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi (R_m powyżej 400-450 MPa). W stanie po odlaniu właściwości te są stosunkowo małe i dopiero po zastosowaniu obróbki cieplnej (utwardzania dyspersyjnego) uzyskują wysoki poziom.

2. Warunki uzyskania wysokiej wytrzymałości stopów aluminium

Właściwości stopów wynikają z ich makro-, mikro- i substruktury. Ważniejszymi cechami struktury wpływającymi na właściwości wytrzymałościowe stopów są:

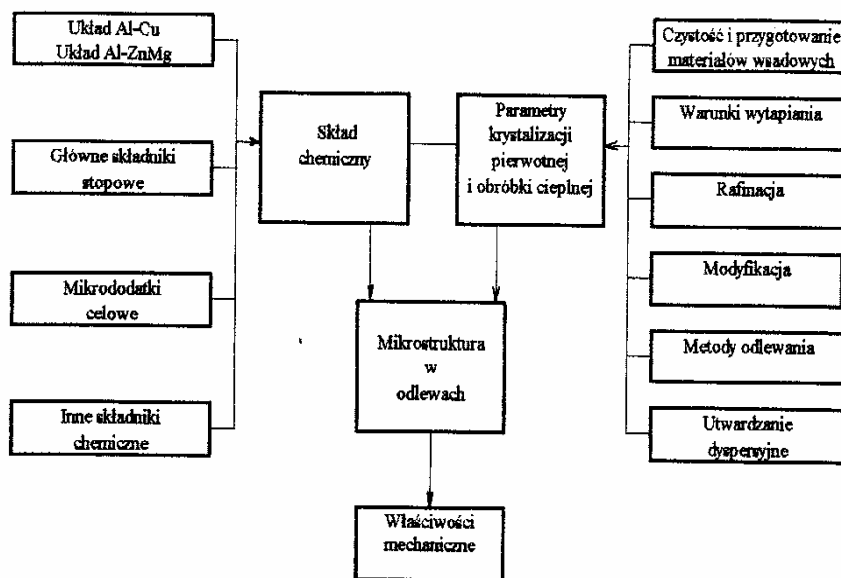
- wielkość ziaren (krystalitów) roztworu stałego $\alpha(\text{Al})$,
- rodzaj, ilość, wielkość i kształt wydzieleni faz międzymetalicznych oraz ich oddziaływanie z roztworem stałym $\alpha(\text{Al})$ w wysokich temperaturach,
- trwałość przesyconego roztworu stałego $\alpha(\text{Al})$,
- rodzaj, ilość i dyspersja faz przejściowych tworzących się podczas rozpadu przesyconego roztworu stałego $\alpha(\text{Al})$ oraz budowa granicy międzyfazowej tych faz z roztworem stałym,
- ilość i rozmieszczenie defektów strukturalnych oraz charakter ich oddziaływania między sobą i z atomami pierwiastków stopowych.

Powyższe cechy kształtowane są przez czynniki związane ze składem chemicznym stopu oraz z warunkami metalurgiczno-odlewniczymi wytwarzania odlewów (rys.1)

Podstawowymi parametrami warunkującymi wysoką wytrzymałość po utwardzaniu dyspersyjnym są: wysoka spójność sieci roztworu stałego oraz duży udział i dyspersja produktów rozpadu przesyconego roztworu stałego. Uzyskanie tych cech wymaga odpowiednich parametrów starzenia. Wyznacza się je indywidualnie dla każdego stopu na drodze eksperymentalnej.

¹ dr hab. inż., prof AGH, Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków, rzkadkosz@uci.agh.edu.pl

² dr inż., Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków, staszcz@uci.agh.edu.pl



Rys. 1. Czynniki kształtujące strukturę i właściwości mechaniczne stopów aluminium

3. Założenia i metodyka badań własnych

Skład chemiczny stopów Al-Cu i Al-Zn-Mg w zakresie podstawowych składników stopowych jest dobrze przebadany i praktycznie zweryfikowany. W celu uzyskania korzystniejszych właściwości odlewów prowadzone są analizy i badania mające na celu wytypowanie efektywnie działających dodatkowych składników chemicznych stopów.

W praktyce istnieje bardzo duża liczba kombinacji pierwiastków możliwych do zastosowania. Wybór pierwiastków oparty jest częściowo o przesłanki wynikające z teorii stopów, a przede wszystkim o wyniki prac eksperymentalnych. Na podstawie licznych badań w tym zakresie opracowano wiele stopów Al-Cu i Al-Zn-Mg-Cu charakteryzujących się wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi [1-5].

Dane eksperymentalne wskazują, że niektóre pierwiastki stosowane w postaci bardzo małych ilościach (nazywane mikrododatkami) mogą wpływać na właściwości mechaniczne przez zmianę struktury pierwotnej w odlewach lub (oraz) przez zwiększenie efektu obróbki cieplnej [np. 6-8]. W niektórych konfiguracjach mikrododatków należy się liczyć z wzajemnym ich oddziaływaniem na siłę tego wpływu; może on być osłabiający lub wzmacniający. Warunkiem uzyskania dużej wytrzymałości jest także zminimalizowanie szkodliwego wpływu zanieczyszczeń, z których niewątpliwie najważniejszym jest żelazo, występujące we wszystkich stopach technicznych [1,2,9].

Celem badań własnych było porównanie wpływu na strukturę pierwotną oraz przebieg i efekt utwardzania dyspersyjnego stopów Al-Cu i Al-Zn-Mg-Cu (czystych i zanieczyszczonych żelazem) małych dodatków wybranych pierwiastków. Wprowadzano je osobno lub w różnych konfiguracjach. W tym drugim przypadku chodziło o uzyskanie informacji o możliwych interakcjach w procesie starzenia. Analizą objęto pierwiastki, które prognozowały pozytywny wpływ na właściwości mechaniczne w obu grupach stopów. Były to w przypadku stopów Al-Cu pierwiastki: Mn, Ti, B, Cr, Ni, Zn, Sn, Cd, In, Mg, Sb i Ag,

a w przypadku stopów na osnowie Al-Zn-Mg-Cu pierwiastki: Mn, Ti, Zr, B, Cr, Ag. Wprowadzano je do ciekłych stopów bazowych w postaci czystej (Sn, Cd, In, Mg, Zn, Sb) lub w postaci odpowiednich zapraw (pozostałe pierwiastki).

Bazowymi stopami dla powyższego eksperymentu były stopy Al-Cu i stopy Al-Zn-Mg-Cu o zawartości podstawowych składników chemicznych w granicach zapewniających najkorzystniejsze właściwości.

Dobierając podstawowy skład stopu bazowego Al-Zn-Mg-Cu uwzględniono takie warunki, które powinny zmniejszyć skłonność stopów do pęknięć na gorąco i korozji naprężeniowej, a jednocześnie zapewnić dobre właściwości technologiczne. W związku z tym w opracowanym składzie stopu Al-Zn-Mg uwzględniono zwiększone zawartości magnezu i zmniejszone zawartości cynku tak, aby stosunek Zn/ Mg był znacznie mniejszy od dwóch. Taki stosunek zapewnia w strukturze obecność faz: $\alpha(\text{Al})$ i $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$ [10]. Stop bazowy do dalszych badań zawierał podstawowe składniki chemiczne w następującym zakresie: 5-6%Zn, 2-3%Mg i 0,8-1,2% Cu. Bazowe stopy A-Cu zawierały miedź w zakresie 4-6 %. Jest to zakres najkorzystniejszych wskaźników właściwości mechanicznych tych stopów [11].

Stopy wytapiano w piecu elektrycznym z tygłem szamotowo-grafitowym. Wsad stanowiły: Al99,999; zaprawa AlCu50 oraz magnez Mg1 i cynk EO1. Zamierzoną zawartość żelaza uzyskiwano przez dodatek zaprawy AlFe30. Inne pierwiastki wprowadzano w postaci czystej lub odpowiednich zapraw. Stopy odlewano do form metalowych podgrzanych do temperatury około 523K i do form piaskowych suszonych. Odlewano próbki wytrzymałościowe do statycznej próby rozciągania i pręty ϕ 25x250 mm. Średnia prędkość stygnięcia odlewów w zakresie temperatur 873K-723K wynosiła 6-8 K/s (dla formy metalowej) i 0,8-0,9 K/s (dla formy piaskowej). Odlewy próbne przesycało i starzono. Wygrzewanie w pierwszej operacji (przesycanie) prowadzono dla stopów Al-Cu izotermicznie w temperaturze 788K, a dla stopów Al-Zn-Mg w temperaturze 763K. Starzenie prowadzono w temperaturze 393K i 433K w czasie zmieniającym się od 0,5h do 250h. Próbki pobrane z odlewów próbnych przed i po obróbce cieplnej poddano badaniom mikroskopowym, mechanicznym i rentgenowskim (MAR, RAS).

4. Mikrostruktura stopów po odlaniu

W mikrostrukturze stopów zawierających 4 - 6% Cu i do 0,35% Fe występują iglaste wydzielenia fazy $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$, tworzące z $\alpha(\text{Al})$ i Al_2Cu eutektykę potrójną W stopach o większej zawartości żelaza występuje dodatkowo faza $\text{Al}_6(\text{FeCu})$ o kształcie „chińskiego pisma”. Żelazo rozpuszcza się także w fazie Al_2Cu .

Mikrostruktura stopu AlZn5Mg3Cu złożona jest z dendrytów $\alpha(\text{Al})$, faz międzymetalicznych $\text{Al}_2\text{Zn}_3\text{Mg}_3$ (T) i $(\text{Al Zn})_2\text{Mg}$ (η) tworzących eutektyki z roztworem stałym α (Al). Żelazo występuje w strukturze tych stopów w postaci fazy Al_3Fe lub w postaci bardziej złożonych wieloskładnikowych faz żelazowych. Przy niezbyt dużych zawartościach żelaza fazy te krystalizują w postaci tzw. chińskiego pisma. Przy większych zawartościach (do około 1% Fe) fazy żelazowe występują natomiast w postaci długich, igieł o ostrych konturach.

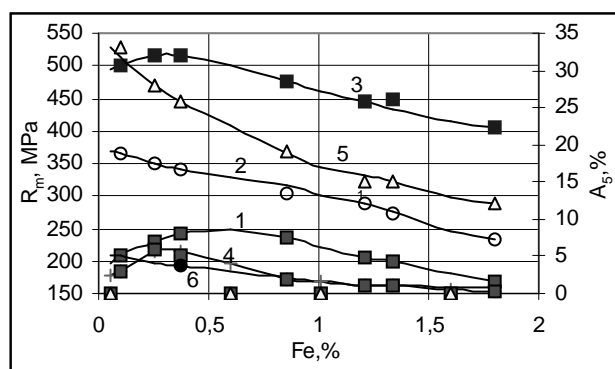
5. Rola żelaza w procesach utwardzania dyspersyjnego

Domieszki żelaza tworzą ze składnikami stopu międzymetaliczne wydzielenia, które powodują zmniejszenie właściwości plastycznych oraz wytrzymałości na rozciąganie po odlaniu. Ten niekorzystny wpływ na właściwości mechaniczne utrzymuje się również po obróbce cieplnej, albowiem nierozpuszczalne fazy żelazowe, pozostają w strukturze obrobionych cieplnie stopów w niezmienionej formie.

Wpływ żelaza na przebieg obróbki cieplnej i jej końcowe rezultaty związany jest z dwoma kierunkami oddziaływania, a mianowicie z wiązaniem w nierozpuszczalne fazy międzymetaliczne pierwiastków aktywnych w procesach obróbki cieplnej i oddziaływaniem żelaza rozpuszczonego w przesyconym roztworze stałym na procesy jego rozpadu.

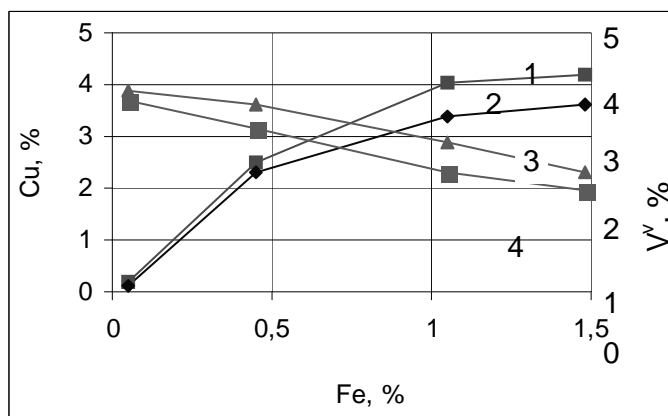
Z badań wynika, iż intensywność wpływu żelaza na właściwości wytrzymałościowe stopu AlZn5Mg3Cu jest uzależniona od jego stanu (rys. 2) W stanie po odlaniu obserwuje się wzrost wydłużenia do zawartości wynoszącej około 0,25% Fe, a wytrzymałości na rozciąganie do zawartości 0,8-0,9% Fe. Powyżej tej zawartości żelaza obie właściwości wyraźnie maleją. Po przesyconiu i starzeniu obserwuje się zmniejszenie obu właściwości wraz ze wzrostem zawartości żelaza w stopach, z tym jednak, iż po starzeniu w 160°C na krzywej wytrzymałości na rozciąganie R_m obserwuje się lekko zaznaczone maksimum przy zawartościach mniejszych od 0,5% Fe. Biorąc pod uwagę fakt, iż już małe ilości żelaza wpływają niekorzystnie na właściwości stopu po obróbce cieplnej, żelazo w badanych stopach należy traktować jako szkodliwe zanieczyszczenie.

Z obserwacji mikrostruktury przesyconych stopów Al-Cu wynika, że czas przesyconia niezbędny do całkowitego rozpuszczenia fazy Al_2Cu wydłuża się znacznie w stosunku do czasu ekonomicznie uzasadnionego w praktyce obróbki cieplnej tych stopów. Staje się więc koniecznym pozostawienie części wydzielań Al_2Cu . Z analizy mikrostruktur wynika ponadto, że iglaste wydzielenia fazy Al_7Cu_2Fe w eutektyce potrójnej są elementem hamującym przechodzenie fazy Al_2Cu do roztworu, albowiem zmniejszają powierzchnię dyfuzyjną między osnową a wydzieleniami tej fazy.

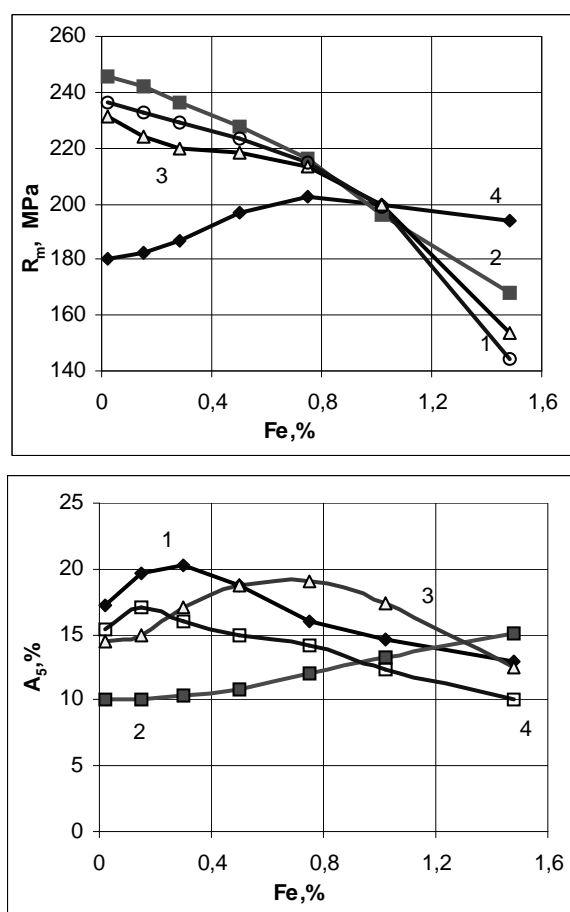


Rys.2. Wpływ zmiennych dodatków żelaza na właściwości wytrzymałościowe stopu AlZn5Mg3 odlanego do form metalowych. Stop po przesyconiu w 753K/48 godz. Krzywe R_m : 1-po odlaniu, 2 – po przesyconiu, 3- po starzeniu. Krzywe A_5 : 4 - po odlaniu, 5 – po przesyconiu, 6- po starzeniu

Rozpuszczające się wydzielenia fazy Al_2Cu nasycają roztwór stały $\alpha(Al)$ miedzią. W mikrostrukturze pozostają niewielkie ilości fazy Al_2Cu i wydzielenia potrójnych faz Al-Cu-Fe. Wraz ze zwiększeniem zawartości żelaza w stopie zmniejsza się stopień przesyconia roztworu stałego miedzią i zwiększa się udział nie rozpuszczonych faz międzymetalicznych (rys. 4). Czynniki te decydują o właściwościach mechanicznych po zabiegach cieplnych. Wpływ żelaza na wytrzymałość na rozciąganie R_m i wydłużenie A_5 stopów Al.-Cu ilustruje rys.4.



Rys. 3. Wpływ żelaza na udział nierozpuszczonych faz żelazowych (krzywe 1 i 2) oraz stężenie miedzi w roztworze stałym $\alpha(\text{Al.})$ po przesycaaniu (krzywe 3 i 4) stopu AlCu5 dla odlewów wykonanych w formie piaskowej (krzywe 1 i 4) oraz w kokili (krzywe 2 i 3).



Rys.4. Wpływ domieszki żelaza i parametrów przesycaania na właściwości wytrzymałościowe stopów AlCu4Fe odlanych do formy metalowej: krzywe 1- stan wyjściowy, krzywe 2 – po przesycaaniu 8 godz. , krzywe 3 - po przesycaaniu 24 godz., krzywe 4 - po przesycaaniu 48 godz.

6. Wpływ wybranych mikrodotadków na właściwości stopów Al-Zn-Mg-Cu

Na podstawie przeprowadzonych badań można podać następujące uwagi odnośnie do wpływu małych dodatków manganu, tytanu, srebra, krzemu, cyrkonu i domieszki żelaza na właściwości stopów Al Zn5-5,5% Mg 3-4% Cu 0,8-1,2% oraz przebieg procesu starzenia:

- mangan w zakresie 0,25-0,5% jest korzystnym dodatkiem, zwiększającym wytrzymałość na rozciąganie; nie potwierdziły się natomiast sugestie literaturowe, że działa on przyspieszająco na rozpad roztworu stałego i skraca czas utrzymywania się maksimum umocnienia podczas starzenia;
- srebro hamuje procesy rozpadu roztworu stałego i nie daje przyrostu wskaźników mechanicznych mogących mieć znaczenie praktyczne, a powyżej 0,4% zmniejsza efekt utwardzania dyspersyjnego w stopach zawierających większe ilości magnezu (powyżej 3%);
- cyrkon wprowadzony samodzielnie działa mało intensywnie na rozdrobnienie struktury; duże rozdrobnienie występuje po zastosowaniu dodatkowo tytanu i boru; pierwiastki modyfikujące zwiększają efekt starzenia w stosunku od efektu występującego w stopach niemodyfikowanych;
- żelazo do zawartości 0,5% zwiększa wydłużenie, a do 0,9% również wytrzymałość na rozciąganie stopów w stanie po odlaniu i zmniejsza te właściwości po obróbce cieplnej; powyżej zawartości 0,2% żelazo jest zdecydowanie niekorzystnym składnikiem stopu;
- dodatki krzemu wywierają niewielki, niekorzystny wpływ na właściwości mechaniczne badanych stopów po obróbce cieplnej, poprawiają natomiast właściwości technologiczne.

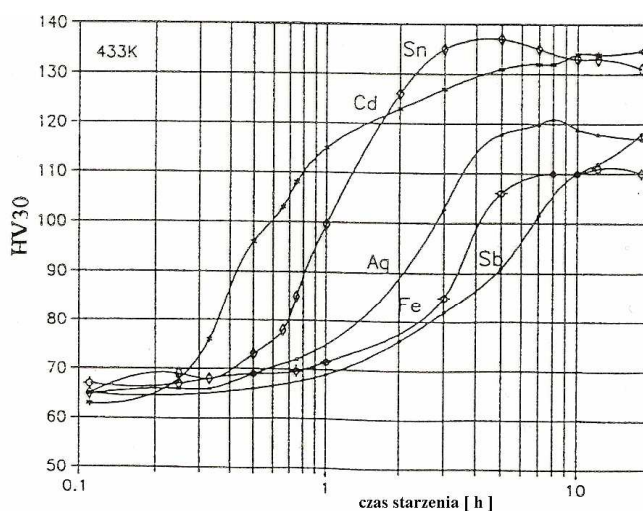
W tabeli 1 przytoczono przykładowo wyniki badań dotyczących wpływu małych dodatków Mn, Cr, Zr oraz domieszki Fe na właściwości wytrzymałościowe stopu Al-Zn-Mg-Cu po utwardzaniu dyspersyjnym.

Tabela 1. Wpływ wybranych mikrodotadków na właściwości mechaniczne stopów na osnowie Al-Zn-Mg-Cu po utwardzaniu dyspersyjnym

	Zn % cięż.	Mg % cięż.	Cu % cięż.	Inne %cięż.				R _m MPa	A ₅ %	HV	ΔR _m	ΔHV
1.	6,0	2,4	0,6	0,10 Fe	0,3 Mn	-	Lk	465	4,6	137	263	69
2.	5,6	2,5	0,72	0,05 Fe	0,38 Mn	-	Lk	480	5,0	135	267	67
3.	5,8	2,9	0,8	0,4 Fe		0,02B 0,05 TiB	Lk	497	3,0	143	290	73
4.	5,8	3,1	0,9	0,2 Cr	0,11 Zr	0,05Ti B	Lk	515	3,2	140	280	69

7. Wpływ wybranych mikrodotatków na właściwości stopów Al-Cu

Z przeprowadzonych badań wynika, że wszystkie zastosowane pierwiastki zwiększyły (w różnym stopniu) wytrzymałość na rozciąganie R_m utwardzanych dyspersyjnie stopów AlCu6 i AlCu6Fe0,5 (tab.2). Największe wartości tych wskaźników, a także największy ich przyrost w wyniku starzenia, spowodowały dodatki cyny, kadmu i indu (tab.3). Ich zastosowanie pozwoliło na uzyskanie wysokiej wytrzymałości na rozciąganie R_m przekraczającej 400 MPa w stopie AlCu6Fe0,5 i 450 MPa w stopie AlCu6. Stopy z tymi pierwiastkami wykazały jednak mniejszą plastyczność ($A_5 < 2-3\%$). Mniejszy przyrost wytrzymałości na rozciąganie uzyskano w stopach z takimi pierwiastkami jak: cyrkon, cynk i magnez ($R_m = 390-380$ MPa), a także w przypadku stopów zawierających tytan, srebro i antymon ($R_m = 360-380$ MPa). Stopy z tymi pierwiastkami charakteryzowały się większą plastycznością ($A_5 > 5\%$) niż stopy zawierające kadm lub cynę. Stosunkowo małą wytrzymałością charakteryzowały się stopy z manganem. Mały wpływ na efekt umocnienia stwierdzono w przypadku dodatków niklu i chromu. Zastosowane w badaniach pierwiastki zmieniają kinetykę umacniania się stopów podczas starzenia (rys.5).



Rys. 5. Przykład wpływu mikrodotatków na kinetykę starzenia stopu Al-Cu

Na podstawie analizy przebiegu krzywych zmian twardości HV można stwierdzić, że najsilniejsze oddziaływanie na kinetykę utwardzania wywierają mikrodotatki kadmu, cyny i indu. W mniejszym stopniu kinetykę utwardzania zmieniają dodatki srebra i magnezu, a najmniej dodatki cynku i antymonu. W przypadku kadmu i cyny uwidacznia się szczególnie wyraźne przyspieszenie procesów umacniających stop przy zastosowaniu wyższej temperatury starzenia tj. 433 K i zahamowanie starzenia w temperaturach otoczenia. Oba te pierwiastki znacznie skracają czas starzenia sztucznego niezbędny do uzyskania maksymalnego umocnienia.

Przykładowe dane o właściwościach mechanicznych badanych stopów podane w tabeli 2. wskazują, iż efekt utwardzania dyspersyjnego (przyrost wartości wskaźnika R_m i HV w stosunku do stanu po odlaniu) zmniejsza się w miarę zwiększania zawartości żelaza w stopie. Efekt obróbki cieplnej odlewów wykonanych w formach piaskowych jest znacznie mniejszy niż dla odlewów wykonanych w formach metalowych.

Tabela 2. Wpływ wybranych mikrododatków na właściwości mechaniczne stopów na osnowie Al-Cu po utwardzaniu dyspersyjnym

Lp.	Skład chemiczny, % cięż.						Sposób odlewania	Maks. właściwości po utwardzaniu dyspersyjnym			Przyrost właściwości	
	Cu	Fe	Ni	Cr	Zr	Sn		R _m MPa	A ₅ %	HV	ΔR _m	ΔHV
1.	6.00	0.03	-	-	-	0.10	Lk	481	1.5	160	230	100
							Lp	331	1.0	170	141	107
2.	5.90	0.60	-	-	-	0.15	Lk	400	2.0	133	200	68
							Lp	270	1.0	130	100	68
3.	6.00	1.70	-	-	-	0.12	Lk	370	1.8	120	188	58
4.	5.70	0.51	0.40	0.21	-	-	Lk	345	3.5	135	110	66
5.	5.72	0.48	0.41	0.20	-	0.18	Lk	420	2.5	152	230	82
6.	5.90	0.07	0.33	0.27	0.21	0.11	Lk	450	1.5	160	209	96
							Lp	360	1.6	158	128	96
7.	5.83	0.40	0.40	0.25	0.23	0.18	Lk	445	1.5	152	213	93
8.	6.01	1.62	0.32	0.23	0.19	0.13	Lk	350	2.0	126	135	88
							Lp	303	1.0	136	103	58
9.	5,8	0,02	-	-	1,0 Zn	-	Lk	403	9,8	122	203	66
10.	6,21	0,02	-	-	-	-	Lk	416				67
11.	6,13	0,31	-	-	0,13 Ti	0,34 Zr	Lk	433	6,4	128	221	56

W tabeli 3 podano przykłady właściwości mechanicznych uzyskane w stopach Al-Cu, do których wprowadzono jednocześnie dwa dodatkowe pierwiastki. Przykłady te wskazują na możliwość wzmocnienia (stop zawierający Sn + Cd) lub osłabienia (stop zawierający Sn + Mg lub Cd + Mg) indywidualnego wpływu pierwiastków na efekt starzenia.

Wpływ modyfikacji połączony z wpływem mikrododatku na właściwości mechaniczne po utwardzaniu dyspersyjnym ilustrują, na przykładzie stopu Al-Cu, dane podane w tabeli 4.

Tabela 3. Maksymalne właściwości mechaniczne po utwardzaniu dyspersyjnym stopów z dwoma wybranymi mikrododatkami

Lp.	Skład chemiczny %					Maksymalne właściwości po utwardzaniu dyspersyjnym		
	Cu	Sn	In	Cd	Mg	R _m MPa	A ₅ %	HV30
1	6,10				0,22	375	5,5	122
2	6,20			0,15	0,28	370	4,0	140
3	6,10	0,11			0,26	355	3	124
4	5,85	0,10		0,12		460	4	148

Tabela 4. Wpływ modyfikacji i mikrododatku cyny na właściwości mechaniczne po utwardzaniu dyspersyjnym stopu na osnowie Al-Cu odlanego w kokili

Lp.	Skład chemiczny % cięż.		Rodzaj modyfikatora	Właściwości mechaniczne po utwardzaniu dyspersyjnym		
	Cu	Sn		R _m , MPa	A ₅ , %	HV30
1.	5,8	-	-	334	3,6	112
2.	5,8	-	0,2%Ti	365	4,2	119
3.	5,9	-	0,05%Ti+0,02%B	387	3,4	122
4.	5,8	-	0,05%TiB +0,2%Zr	383	4,4	120
5.	5,8	0,12	-	432	1,4	138
6.	5,8	0,12	0,25%Ti	419	3,6	139
7.	5,8	0,12	0,05%Ti+0,02%B	442	2,5	141
8.	5,8	0,12	0,05%TiB +0,2%Zr	445	2,2	140

Analiza mikroskopowa pozwoliła stwierdzić, że niektóre z badanych pierwiastków, a mianowicie mangan, chrom i nikiel, zmieniają kształt wydzieleni faz międzymetalicznych wiążących żelazo. W miejsce iglastych, charakterystycznych dla stopu AlCu6Fe0,5, pojawiają się wydzielenia bardziej zwarte. Inne mikrododatki (takie jak: Ti, Zr i B) wywierają wpływ na strukturę pierwotną stopów, powodując rozdrobnienie ziaren. Szczególnie korzystne właściwości wytrzymałościowe wykazują stopy Al-Zn-Mg-Cu zawierające mikrododatki cyrkonu i modyfikowane kompleksowo tytanem i borem. Wymienione pierwiastki zwiększają właściwości mechaniczne po utwardzaniu dyspersyjnym w stosunku do stopów niemodyfikowanych oraz zmieniają kinetykę starzenia.

8. Podsumowanie

Wyniki badań można podsumować następująco:

1. Domieszka żelaza w stopach Al-Cu i Al-Zn-Mg-Cu wpływa znacznie na przebieg procesów utwardzania dyspersyjnego i uzyskiwane rezultaty. Wraz ze zwiększeniem zawartości żelaza zmniejsza się efektywność obróbki cieplnej oraz wydłuża czas przesycania i starzenia niezbędny dla osiągnięcia najwyższych wskaźników wytrzymałościowych.
2. Przez uzupełnienie składu chemicznego stopów Al-Cu zawierających żelazo, małymi dodatkami niektórych pierwiastków można wpływać na morfologię faz międzymetalicznych wiążących żelazo oraz na efekt umocnienia roztworu stałego podczas starzenia, rekompensując w ten sposób ujemny wpływ żelaza.
3. Małe dodatki takich pierwiastków jak: Sn, Cd, In, Mn, Zr i Ti zwiększają wytrzymałość na rozciąganie i twardość utwardzanych dyspersyjnie stopów Al-Cu. Najbardziej efektywne w tym względzie jest zastosowanie kadmu, indu lub cyny. Po utwardzaniu dyspersyjnym największą wytrzymałość R_m uzyskują stopy z cyną, a następnie z indem i kadmem. Stopy z cyną charakteryzują się natomiast mniejszą wartością wydłużenia A₅ w porównaniu ze stopami z indem lub kadmem.
4. Wszystkie analizowane w pracy pierwiastki hamują procesy starzenia strefowego i przyspieszają procesy starzenia fazowego, zachodzącego w wyższych temperaturach.
5. Mikrododatki cyny, kadmu i indu wpływają również silnie na procesy starzenia w obecności pierwiastków modyfikujących strukturę (Ti, Zr), co oznacza, że w celu zwiększenia właściwości odlewów ze stopów Al-Cu można równocześnie wykorzystać efekt modyfikacji i korzystny efekt starzenia wywołany mikrododatkiem cyny lub kadmu lub indu.

6. W przypadku stopów wieloskładnikowych istnieje możliwość wzajemnego oddziaływania pierwiastków w procesach starzenia, co w konsekwencji może zmienić kinetykę i wielkość umocnienia występującego przy oddzielnych dodatkach. Możliwe interakcje pierwiastków mogą być ujawnione przede wszystkim na drodze eksperymentalnej. Wiedza o tych interakcjach jest potrzebna przy racjonalnym doborze składu chemicznego stopów.

7. Istotnym warunkiem uzyskania wysokiego poziomu wskaźników właściwości mechanicznych stopów Al-Cu i Al-Zn-Mg-Cu jest utrzymanie małej zawartości żelaza. Wymaga to stosowania odpowiednio czystych materiałów wsadowych i dużej "higieny" procesu metalurgicznego.

Literatura

1. Stroganow G.B.- Wysokoproczyne litiejnyje aluminiowyje spławy. Izd. Miediałurgia, Moskwa 1985
2. Postnikow N.S. - Uprocznienije aluminiowych spławow i otlivok. Izd. Miediałurgia, Moskwa 1983
3. Mondolfo L.F. - Aluminium Alloys: Structure and Properties/ Struktura i swojstwa aluminiowych spławow. Izd. Miediałurgia, Moskwa 1979
4. G.B.Singh, A.G.Fleming - Metal Progress, 107, 1975, s. 4
5. Jaquet J.C., Heckler M. - Aluminium 58,1982, 6, s.340
6. Rzadkosz S., Adamski C., Wąsik J. - Dyspersyjne utwardzanie wysokowytrzymałościowych stopów na osnowie aluminium. Materiały III Symposium Naukowego "Przemiany strukturalne w stopach odlewniczych -Teoria i efekty użytkowe", Rzeszów 1987, s.115 – 120
7. Rzadkosz S., Staszczak L., Adamski C. - The effect of some additives on the mechanical properties of dispersion-hardened castings made in Al-Cu alloys. Archives of Metallurgy, 41, 1996, 2, s. 223-236
8. Rzadkosz S., Staszczak L. - Wpływ pierwiastków modyfikujących strukturę na efekt utwardzania dyspersyjnego stopów aluminium. Krzepnięcie metali i stopów, nr 33, 1997, s.119-126, PAN-Oddział Katowice
9. Rzadkosz S., Staszczak L. - Wpływ żelaza w stopach aluminium na efektywność obróbki cieplnej. Materiały Międzynarodowej Konferencji "Nauka dla przemysłu odlewniczego", Kraków, 24-25 czerwca 1999, s.125-129
10. Rzadkosz S., Adamski C., Staszczak L. – Zink-Magnesium und kupferbedeutung bei den Gusslegierungen Al-Zn-Mg. Archives of Metallurgy, vol.43, 1, 1998, 53-65
11. Górny Z. – Odlewnicze stopy metali nieżelaznych. WNT, Warszawa 1992.
12. S., Schrey A., Wolf G.: Giessereiforschung nr 4, 2002.

ZAGOSPODAROWANIE PYŁÓW Z ODPYLANIA STACJI PRZEROBU MAS Z BENTONITEM

Mariusz Holtzer¹,
Artur Bobrowski²,
Dariusz Drożyński³,
Antoni Bigaj⁴,
Daniel Kirchner⁵,
Robert Żuchliński⁶

1. Wprowadzenie

Rosnące ceny surowców oraz koszty składowania odpadów zmuszają zakłady, w tym również odlewnie, do coraz intensywniejszego poszukiwania sposobów z jednej strony ograniczenia zużycia materiałów, a z drugiej strony efektywnego wykorzystania powstających odpadów (produktów ubocznych) w procesie produkcyjnym. Przy produkcji 1 tony dobrych odlewów powstaje około 1 tony odpadów, które muszą być poddane recyklingowi lub składowane na odpowiednich składowiskach. Są to głównie zużyte masy formierskie i rdzeniowe, żużle metalurgiczne, zużyte wyłożenie ogniotrwałe z pieców i kadzi. Coraz większy udział w tych odpadach mają pyły wychwycone w urządzeniach odpylających piece topialne, stanowiska przygotowania i sporządzania mas formierskich, wybijania odlewów z form oraz oczyszczania i wykańczania odlewów, regeneracji zużytych mas.

Zgodnie z zaleceniami w zakresie Najlepszych Dostępnych Technik należy dążyć do jak najszerzego wykorzystania powstających odpadów czy to w procesie odlewniczym, czy w innych dziedzinach gospodarki. Odpady te zawierają wiele cennych składników, które przy składowaniu są bezpowrotnie tracone.

Pyły wychwycone w urządzeniach odpylających różnią się składem i stopniem zagrożenia dla środowiska. Zawierają one metale lub tlenki metali, które w wielu przypadkach są rakotwórcze. Pyl krzemionki krystalicznej ma również działanie rakotwórcze. Pyły pochodzące z mas z żywicami fenolowymi i furanowymi są toksyczne. Przy deponowaniu takich odpadów na składowiskach, wiele tych toksycznych składników może ulegać wymywaniu do środowiska.

Do odpylania instalacji związanych ze sporządzaniem i przerobem mas stosowane są dwa typy układów:

- systemy mokrego odpylania – produktem odpylania jest szlam oraz zanieczyszczona woda (ścieki), która krąży w obiegu zamkniętym. W przypadku odpylania instalacji do sporządzania mas z bentonitem ścieki zawierają koloidalne cząstki gliny, najczęściej montmorillonitu oraz cząstki substancji zawierających węgiel, które sedymentują bardzo wolno. Szlam zawiera większe i cięższe cząstki węgla, piasku i metalu, które osadzają się bardzo szybko.

¹ Prof. dr hab. Wydział Odlewnictwa AGH, e-mail: holtzer@agh.edu.pl

² mgr inż., asystent, Wydział Odlewnictwa AGH

³ dr inż., adiunkt, Wydział Odlewnictwa AGH

⁴ mgr inż., Prezes Zarządu, Odlewni Żeliwa Bydgoszcz

⁵ mgr inż., Kierownik Działu Jakości i Ochrony Środowiska Odlewni Żeliwa Bydgoszcz

⁶ mgr inż., Szef Produkcji Odlewni Żeliwa Bydgoszcz

- systemy suchego odpylania – powstające pyły są okresowo usuwane do pojemników. Skład tych pyłów jest zbliżony do składu masy formierskiej poddawanej odpylaniu i silnie zależy od intensywności procesu odpylania.

Instalacja odpylająca może obsługiwać jedno urządzenie lub zbierać pyły z kilku stanowisk. W tym drugim przypadku są mieszane pyły o różnych właściwościach i dlatego jest je znacznie trudniej zagospodarować.

2. Badania wstępne

Nowo wybudowana instalacji suchego odpylania stację przerobu mas z bentonitem w Odlewni Żeliwa Bydgoszcz spowodowała znaczną poprawę środowiska i warunków pracy. Równocześnie jednak pojawił się problem z zagospodarowaniem generowanych pyłów.

Prace prowadzone w zakresie zagospodarowania pyłów z suchego odpylania stacji przerobu mas z bentonitem prowadzone były w trzech kierunkach:

- zawracanie pyłów bezpośrednio do produkcji poprzez dodatek do mas formierskich w procesie odświeżania,
- wykorzystanie pyłów do sporządzania mieszanek bentonitowych dla mas,
- granulowania pyłów, w celu ich łatwiejszego transportu i składowania.

Odlewnia stosuje masy z bentonitem na osnowie piasku kwarcowego Szczakowa z dodatkiem mieszanki Kormix 75, produkcji ZGH Zębice o składzie 75% bentonitu, 25% nośnika węgla.

Pierwszym zadaniem było określenie optymalnych warunków odpylania. Zbyt duża intensywność odpylania mogła powodować nadmierne straty cennych składników (bentonit i pył węglowy) z masy. Natomiast niedostateczne odpylenie powodowałoby obecność nadmiernej ilości pyłów w masie, co pogarsza jej właściwości technologiczne (np. przepuszczalność), a tym samym może wpływać negatywnie na jakość odlewów. W tabeli 1 przedstawiono ilości wychwytywanych pyłów z instalacji odpylającej przy różnej mocy wentylatora.

Tabela 1. Ilości wychwyconych pyłów przy różnej intensywności odpylania stacji przerobu mas

Próbka pyłu	Moc urządzeń odpylających, %	Ilość wychwyconych pyłów, Mg	Produkcja odlewów, Mg	Wskaźnik ilości pyłów kg pyłów/Mg odlewów
P 1	70	12,31	426,6	29,1
P 2	80	8,65	346,3	25,0
P 3	90	8,38	299,7	28,0
P 4	90 (zdławienie schładzarek)	12,11	340,3	35,6
P 5	100	9,13	378,0	24,2

3. Charakterystyka pyłów

Wychwycone pyły poddano analizie chemicznej oraz badaniom fizykochemicznym. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Charakterystyka pyłów z odpylania i mieszanki Kormix

Parametr badany	Oznaczenie próbki						
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	K ¹	EK ²
Wilgotność względna, W [%]	5,07	4,95	3,78	3,16	1,68	6,38	6,45
Zawartość węglanów, CO ₃ ²⁻ [%]	1,94	1,96	1,87	1,50	1,71	2,09	2,69
Zawartość montmorylonitu, M [%]	27,64	20,16	20,81	21,46	21,46	51,22	60,12
Zużycie błękitu metylenowego [mg/g]	127,16	92,76	-	98,74	-	-	-
Straty prażenia, D [%]	27,28	23,46	24,87	22,06	23,90	31,24	30,00
Zawartość krzemionki [%]	52,5	56,5	55,9	62,0	57,1	48,4	-
pH	9,35	9,30	9,48	9,47	9,33	9,43	-
Przewodnictwo elektrolityczne, [mS/ cm]	1,09	1,08	0,75	1,03	1,11	0,63	-
Wskaźnik pęcznienia, W _p [cm ³]	-	-	-	-	-	8,5	16,00
Zdolność do tworzenia węgla błyszczącego, [%]	0,41	0,28	0,30	0,42	0,42	2,43	-

¹Kormix – mieszanka bentonitowo – węglowa firmy Zębic

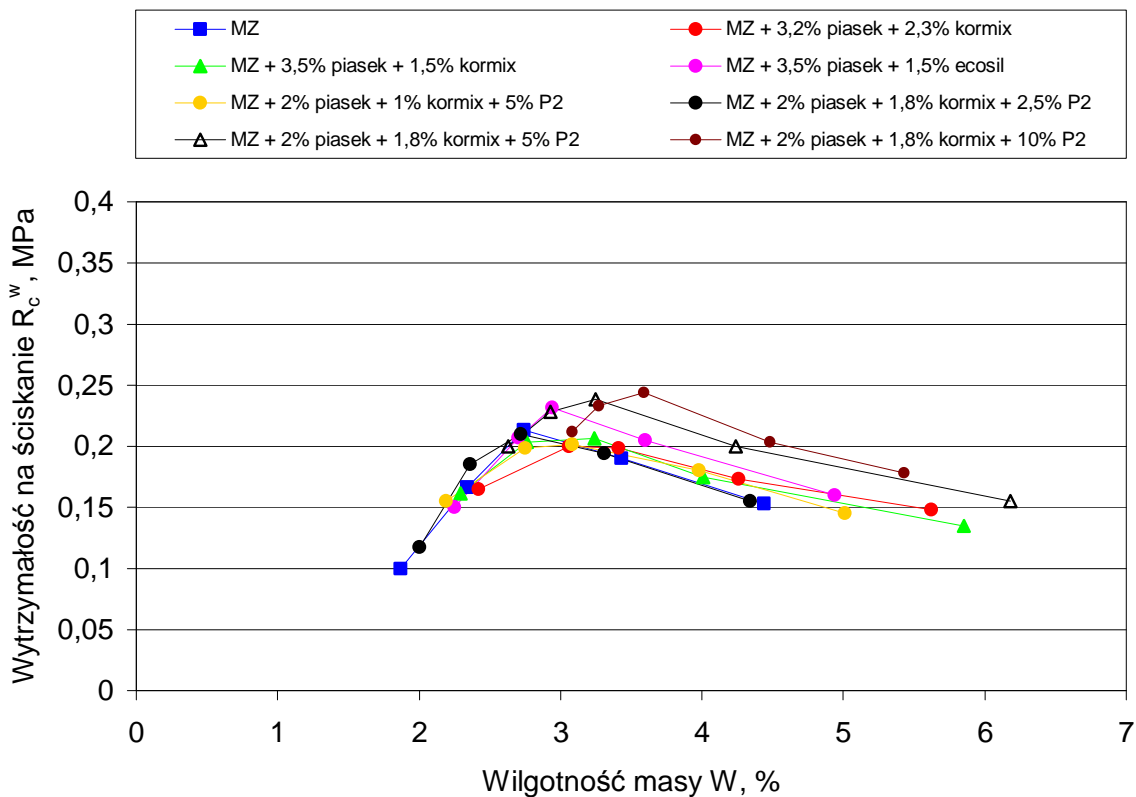
²EKOSIL – mieszanka bentonit – węgielowa firmy Süd - Chemie

W tabeli 3 zamieszczono skład granulometryczny pyłów oraz mieszanki Kormix 75

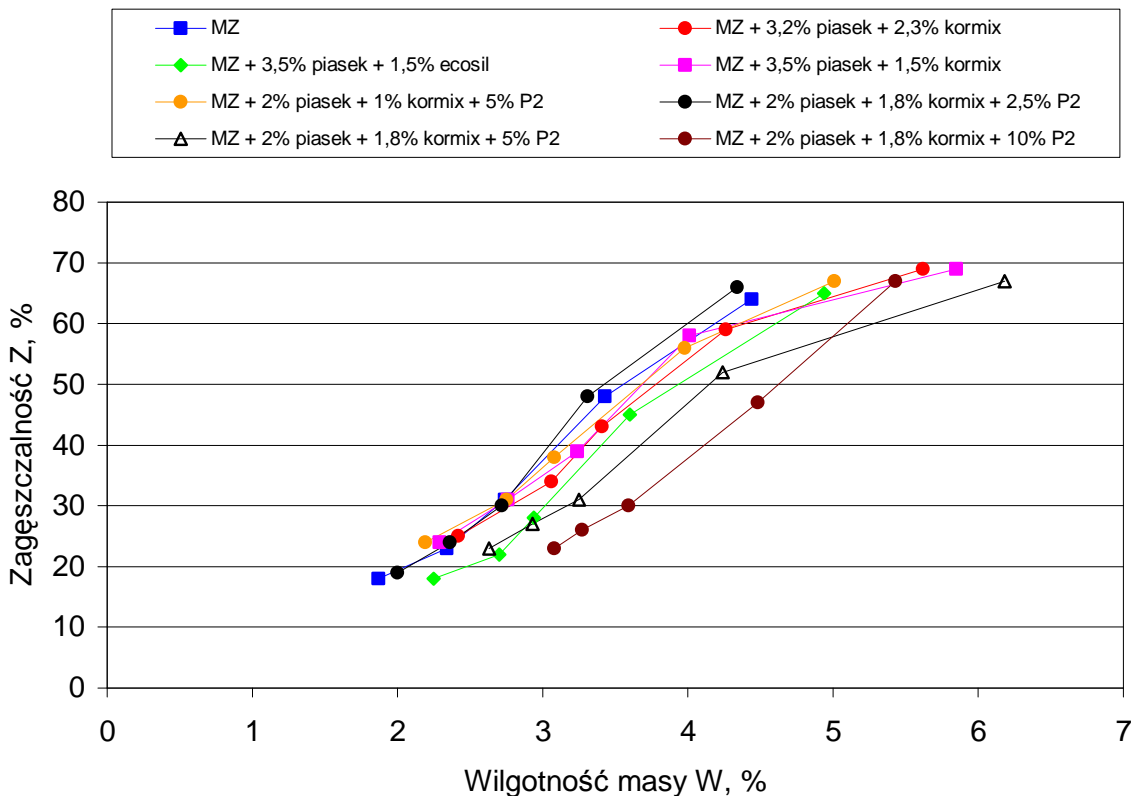
nr sita	Kormix 75		pył P1-nastawa 70%		pył P2-nastawa 80%		pył P3-nastawa 90%		pył P4-nastawa 90%-zdlawienie schładzerek		pył P5-nastawa 100%	
	Odsiew	%	odsiew	%	odsiew	%	odsiew	%	odsiew	%	odsiew	%
0,040	7,205	72,05	7,505	75,05	5,51	55,1	6,025	60,25	5,62	56,2	6,785	67,85
0,056	1,86	18,6	1,27	12,7	1,80	18,0	2,015	20,15	1,77	17,7	1,735	17,35
0,063	0,21	2,10	0,30	3,00	0,45	4,50	0,530	5,30	0,445	4,45	0,385	3,85
0,071	0,225	2,25	0,24	2,40	0,475	4,75	0,445	4,45	0,505	5,05	0,420	4,20
0,10	0,305	3,05	0,36	3,60	0,61	6,10	0,575	5,75	0,71	7,10	0,365	3,65
0,16	0,155	1,55	0,20	2,00	0,63	6,30	0,330	3,30	0,66	6,60	0,235	2,35
0,20	0,03	0,30	0,125	1,25	0,335	3,35	0,075	0,75	0,295	2,95	0,07	0,70

4. Dodatek pyłów do odświeżania mas z bentonitem

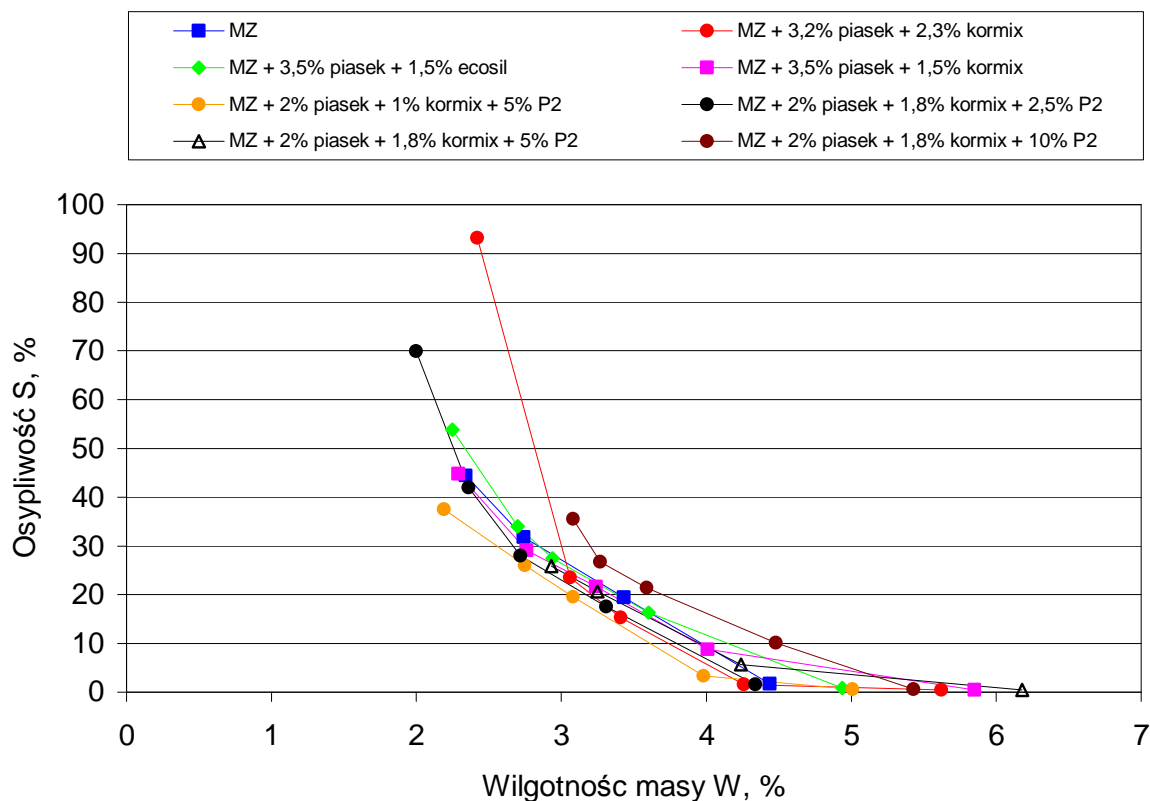
Dla oceny wpływu dodatku pyłów na właściwości technologiczne mas przeprowadzono szerokie badania laboratoryjne w tym zakresie. Wybrane właściwości mas przedstawiono na rys. 1, 2 i 3.



Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie mas,



Rys. 2. Zagęszczalność mas



Rys. 3. Osypliwść mas

W oparciu o zbadane właściwości fizykochemiczne pyłów oraz badania laboratoryjne mas z dodatkami tych pyłów wykonano odlewy testowe (model schodkowy). Zdjęcie takiego odlewu przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4 Odlewy testowe

Próby te potwierdziły wcześniejsze badania laboratoryjne. W oparciu o te badania podjęto decyzję o wprowadzeniu dodatku pyłów do obiegu mas w normalnym cyklu produkcyjnym. Dodatek ten wynosił około od 0,5 do 1,0%. Pozwoliło to na zmniejszenie dodatku mieszanki bentonitowo – węglowej o około 20%.

5. Sporządzanie mieszanek bentonitowych do mas

Pyły wychwytywane z instalacji odpylającej, ze względu na znaczną zawartość montmorylonitu, mogą być wykorzystywane do produkcji mieszanek bentonitowo-węglowych. Z kolei mieszanki te mogłyby być stosowane jako dodatek do mas z bentonitem. W tym celu przeprowadzono badania składu chemicznego i granulometrycznego mieszanek bentonitowo – węglowych z pyłami z odpylania oraz badania technologiczne mas z tymi mieszankami.

W tabeli 4 podano wyniki analizy chemicznej mieszanek Kormixu z pyłem oznaczonym P2, a w tabeli 6. analizę ziarnową tych mieszanek.

Tabela 5. Analiza chemiczna mieszanki Kormix 75 + pył P 2

	90% Kormix 10% pył P2	80% Kormix 20% pył P2	70% Kormix 30% pył P2	60% Kormix 40% pył P2
Wilgotność całkowita W[%]	7,60	6,82	6,64	6,45
Zawartość węglanów CO ₃ ⁻² [%]	2,38	2,31	2,33	2,31
Zawartość montmorylonitu M [%]	47,97	47,16	44,72	43,09
Zużycie błękitu metylenowego [mg/g]	220,66	216,92	205,70	198,22
Strata prażenia [%]	29,72	28,68	28,06	26,90
Wskaźnik pęcznienia Wp [cm ³]	5,41	4,29	4,28	3,21

Tabela 6. Analiza ziarnowa mieszanki Kormix 75 + pył P 2

nr sita	90%Kormix+10%P2		80%Kormix+20%P2		70%Kormix+30%P2		60%Kormix+40%P2	
	odsiew	%	odsiew	%	odsiew	%	odsiew	%
0,040	8,19	81,9	8,18	81,8	7,75	77,5	7,65	76,5
0,056	0,90	9,0	0,89	8,9	1,06	10,6	1,00	10,0
0,063	0,26	2,6	0,26	2,6	0,25	2,5	0,33	3,3
0,071	0,19	1,9	0,18	1,8	0,26	2,6	0,26	2,6
0,10	0,26	2,6	0,29	2,9	0,33	3,3	0,36	3,6
0,16	0,15	1,5	0,16	1,6	0,24	2,4	0,26	2,6
0,20	0,04	0,4	0,04	0,4	0,11	1,1	0,13	1,3

6. Granulowanie pyłów z odpylania

Wychwycone z instalacji suchego odpylania pyły stwarzają poważne trudności podczas ich załadunku i transportu na składowisko. Dlatego też jako jeden z kierunków badań zagospodarowania tych pyłów przeprowadzono próby granulowania pyłów. Na rys. 5 pokazano produkt uzyskany podczas granulowania w granulatorze talerzowym.



Rys. 5. Granulaty uzyskane z pyłów z odpylania mas z bentonitem

7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych szerokich badań w zakresie możliwości zagospodarowania pyłów z suchego odpylania stacji przerobu mas z bentonitem, można przedstawić następujące wnioski w zakresie:

Dodatek pyłów do odświeżania mas z bentonitem

- Dodatek pyłów w ilości 0,5 – 1,0% do masy obiegowej nie powoduje zmian właściwości technologicznych masy i pozwala na otrzymywanie odlewów o wymaganych parametrach. Ilość braków utrzymuje się na dotychczasowym poziomie lub jest mniejsza. W ten sposób możliwe jest zastąpienie około 20% mieszanki Kormix. Jest to najbardziej ekonomicznie i technologicznie uzasadniona forma zagospodarowania tych pyłów.

Sporządzanie mieszanek bentonitowych do mas

- Pyły z odpylania mogą być stosowane przez producentów do sporządzania mieszanek bentonitowo – węglowych dla mas z bentonitem i sprzedawane innym odlewniom.

Granulowanie pyłów z odpylania

- Pyły z odpylania stacji przerobu mas z bentonitem mogą być granulowane bez stosowania dodatkowego spoiwa, tylko z dodatkiem wody, dzięki wykorzystaniu właściwości wiążących lepiszcza aktywnego zawartego w pyłe. Uzyskany granulat w całym okresie sezonowania pozostaje plastyczny i posiada odpowiednie właściwości wytrzymałościowe. Bezpośrednio po zgranulowaniu można go transportować do odbiorcy bez zagrożenia pylenia lub rozpadu.

Przedstawione powyżej wyniki badań oraz wnioski odnoszą się dla konkretnego pyłu oraz dla danej odlewni. W przypadku wdrożenia tej technologii w innej odlewni konieczne jest przeprowadzenie dodatkowych badań uwzględniających istniejące warunki.

Praca została wykonana w ramach projektu celowego ROW-II-089/2005 realizowanego w latach 2006-2007.

ZJAWISKA TOWARZYSZĄCE STREFIE PRZEWILŻONEJ W WILGOTNYCH FORMACH PIASKOWYCH NAGRZEWANYCH JEDNOSTRONNIE

Tadeusz SZMIGIELSKI¹

1. Wstęp

Obecność odpowiedniej ilości wody w masie formierskiej wiąże się jej z wpływem na wady powierzchniowe odlewów, a w szczególności na wady pęcherzy, zapróśzenia, żyłki, wady strupa, związanej z powstawaniem strefy silnie przewilżonej w materiale formy podczas zalewania i tuż po jej wypełnieniu metalem. Woda ma także związek z dynamiką odbioru ciepła z odlewu, zwłaszcza w okresie zalewania i zaraz po odlaniu [8]. Po zalaniu formy ciekłym metalem woda z powierzchniowych warstw formy, której temperatura zbliża się do 100°C, odparowuje stopniowo. Powstała para wodna, na skutek różnicy ciśnienia [7,9,13,14] jest transportowana w głąb formy i skrapla się w obszarach, gdzie temperatura nie osiągnęła jeszcze 100 °C, uczestnicząc w ten sposób także w transporcie energii cieplnej [12,18]. Z upływem czasu, warstwy masy od strony styku metal-forma zostają pozbawione wilgoci, a woda migruje w głąb formy powodując jej kumulację w chłodniejszych obszarach, tworząc coraz rozleglejszą strefę przewilżoną. W efekcie otrzymujemy obszary formy gdzie masa posiada bardzo zróżnicowaną temperaturę i wilgotność, przy czym wartości tych parametrów w poszczególnych strefach formy, pod wpływem kontaktu z ciekłym metalem i promieniowania cieplnego, ulegają bardzo szybkim zmianą ilościowym i jakościowym. Zmiany ilości wilgoci w poszczególnych strefach są ściśle powiązane ze zmianami temperatury tych stref.

Niestety, wytrzymałość masy nie jest rosnącą funkcją wilgotności, lecz osiąga swoje maksimum już dla zawartości około $2 \div 2,5$ %, po czym maleje. Ze względu na inne własności technologiczne masy (np. przepuszczalność, płynność, ścieralność), stosuje się najczęściej masy o wilgotności większej od 2,0 %. Każde zatem, podwyższenie wilgotności (ponad $1,0 \div 1,5$ %), takie jakie występuje na przykład w strefie transportu wilgoci, powoduje obniżenie wytrzymałości masy formierskiej. Obszar ten, o podwyższonej wilgotności nazywany strefą przewilżoną. Jeśli uwzględnić przy tym wzrost ciśnienia gazów oraz naprężenia spowodowane rozszerzalnością cieplną (różna rozszerzalność w zależności od gradientu temperatury w poszczególnych warstwach masy), widać jak niekorzystną technologicznie jest strefa masy o podwyższonej wilgotności. Spadek wytrzymałości w tej strefie jest główną przyczyną wyżej wymienionych wad. Ze względu na parcie ciekłego metalu na wnęć formy, ważne jest określenie położenia i grubości warstwy masy formierskiej o największej wilgotności, najbardziej podatnej na odkształcenia, oraz określenie grubości warstwy masy całkowicie wysuszonej, która przywierając do odlewu po usunięciu go z formy, stanowi bezpowrotną stratę.

Dokładne zbadanie i wyjaśnienie zjawisk, zachodzących w wilgotnych formach piaskowych po ich zalaniu ciekłym metalem, pozwoliłoby na przewidywanie i kontrolowanie rozkładu wilgoci w warstwach masy o podwyższonej temperaturze i znaczne wyeliminowanie wad odlewniczych, a zwłaszcza wady strupa.

¹ dr inż., Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn Uniwersytetu Zielonogórskiego

W artykule opisano metodę jednoczesnego pomiaru zmian temperatury, wilgotności i ciśnienia gazów dla wybranej warstwy masy formierskiej, już w początkowym okresie zalewania i krzepnięcia metalu, zanim wytworzy się przy ściankach wnętrza formy cienka warstwa zakrzepłego metalu.

2. Strefa przewilżona – wybrany stan wiedzy

Zjawiska transportu wilgoci i powstawania strefy przewilżonej były badane wielokrotnie. Największe zainteresowanie tymi zjawiskami przypadło na koniec lat 60-tych i lata 70-te [1,2,4,5,9,10,12,13,16,17]. Mimo, że nie udało się opracować przystępnej metody analitycznej, pozwalającej określać zmiany wilgotności formy po zalaniu jej ciekłym metalem, w latach późniejszych zdecydowanie zmalało zainteresowanie tymi problemami. Oprócz publikacji I. Dzwonnika [3,18], oraz badań przeprowadzonych przez M. Gawlikowską i R. Ryglickiego [5,6], które ograniczyły się jedynie do opracowania kompleksowej metody pomiaru zmian temperatury i wilgotności, nie były szerzej publikowane żadne prace związane z problemami rozkładu wilgotności w formach z wilgotnych mas formierskich. W ostatnim czasie ukazały się między innymi publikacje [7,8,19] przedstawiające rozważania związane ze zjawiskami zachodzącymi w obszarze strefy przewilżonej dotyczące głównie zmian parametrów termofizycznych masy i badań symulacyjnych zmienności temperatur w miejscach lokalizacji termoelementów.

Problemem numer jeden pozostaje ilościowa zmiana wilgotności strefy przewilżonej. Próbę uogólnienia zjawiska transportu wilgoci, poprzez analizę matematyczną zjawisk fizyko-chemicznych zachodzących w napromieniowanej formie, przedstawili A. Hrbek, F. Havliczek i L. Jenicek [4]. Do rozważań posłużyło im równanie Stefana opisujące ilość pary, która przechodzi przez dwie przeciwległe powierzchnie jednego elementu objętości. Analiza rozwiązania pozwoliła im na przedstawienie następujących wniosków:

- maksymalna wilgotność w strefie przewilżenia tej samej formy nie zmienia się i jej wartość jest dana poprzez całkowitą przestrzeń międzyziarnową masy,
- wilgotność maksymalna znajduje się w częściach formy, w których temperatura jest zbliżona do 100 °C,
- w częściach, gdzie temperatura jest wyższa od 100 °C, znajduje się pewna ilość wody, która maleje do zera w sposób wykładniczy w miarę wzrostu temperatury,
- przy temperaturach wewnątrz masy do 100 °C, wilgotność obniża się aż do wilgotności początkowej w sposób wykładniczy.

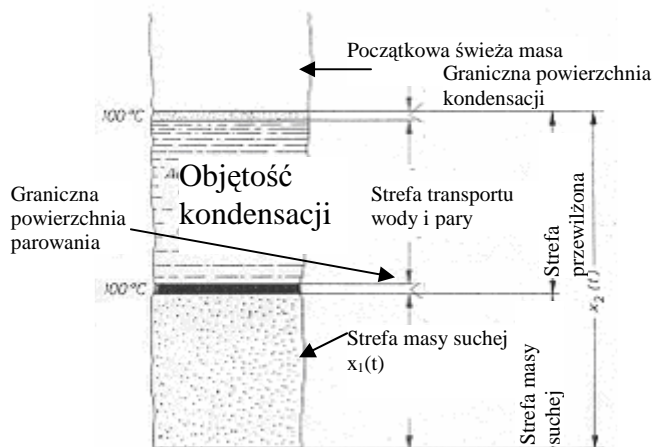
R.H.G. Rau i C.T. Marek [12], na podstawie krzywej gradientu temperatury, wyróżnili w wilgotnej masie formierskiej, poddanej działaniu ciepła, trzy strefy: strefę masy suchej, strefę przenoszenia pary i strefę masy zewnętrznej. Granice tych stref są w ciągłym ruchu, zgodnym z kierunkiem przepływu ciepła, a grubość strefy masy suchej wzrasta w czasie.

Rozszerzając zagadnienie przemieszczania się wspomnianych stref masy na strefę przenoszenia pary, C.T. Marek [10] przedstawił strefę przewilżenia jako obszar ograniczony dwoma płaszczyznami: parowania i kondensacji. Według C.T. Marek'a para przechodzi przez strefę przewilżenia pod wpływem różnicy ciśnień, wywołanych odparowaniem wilgoci w płaszczyźnie parowania i skraplaniem się jej w płaszczyźnie kondensacji. Podsumowaniem i uzupełnieniem rozważań C.T. Marek'a [10] i R.H.G. Rau'a [12] były badania przedstawione przez M.P. Chowdiach'a [2]. Opierając się na rozważaniach autorów [10, 12] wydzielił w ogrzewanej wilgotnej masie strefy: masy suchej, przejściową (pary i wody), oraz masy świeżej (początkowej), oddzielone płaszczyznami parowania i kondensacji (rys. 1), których ruch jest funkcją czasu i które mają temperatury konieczne dla przemian fazowych zachodzących w tym obszarze:

$T_1 = T_2 = T_{\text{wrz.wody}}$. Ruch tych płaszczyzn opisał następującymi równaniami:

$$X_1^2 = K_1 \cdot t \quad \text{oraz} \quad X_2^2 = t \quad ; \quad (1)$$

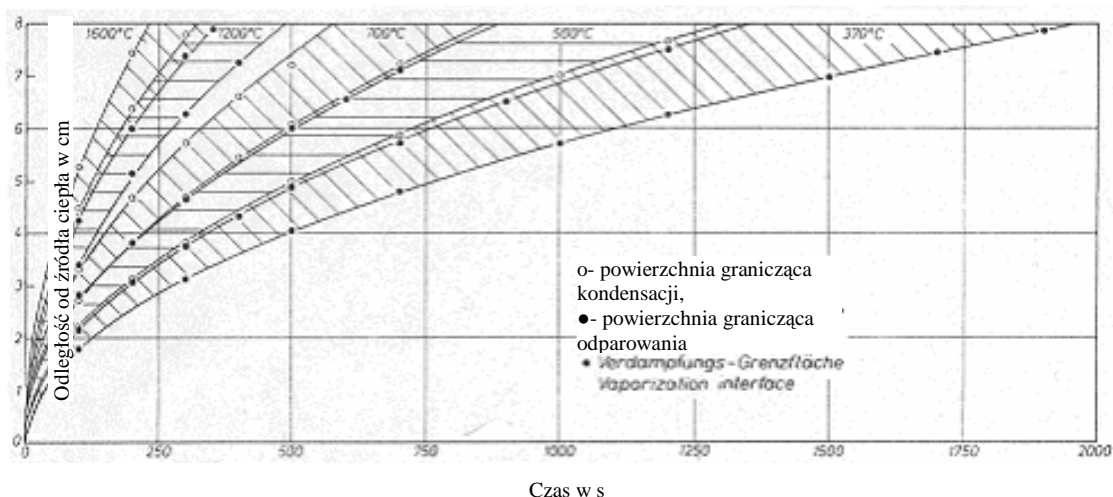
Kiedy w dowolnym punkcie czasu t istnieją odstępki powierzchni granicznej odparowania i kondensacji od powierzchni styku metal/ forma x_1 i x_2 , to następuje przyrost specyficznej pojemności w strefie transportu.



Rys. 1. Wycinek strefy przewilżonej z przemianą stref typowej wilgotnej masy pod wpływem temperatury [2]

Porównując eksperymentalnie określony ruch tych płaszczyzn (rys. 2) z wyprowadzeniem matematycznym, autor przedstawił następujące wnioski [2]:

- tempo ruchu strefy kondensacji wyraźnie zależy od temperatury źródła ciepła,
- grubość strefy nie zależy od wzrostu temperatury lecz od czasu trwania procesu.



Rys. 2. Ruch strefy transportu dla krzywych według równania (1) [2]

Przedstawione powyżej badania [12,10,2] analizują jednak jedynie ruch strefy przewilżonej nie próbując wnikać w zmiany wilgotności w tej strefie i w całej masie, a przecież, to właśnie zmiany wilgotności decydują o wytrzymałości masy.

Próba określenia rozkładu wilgoci były rozważania autorów [4], jednakże przedstawione przez nich równanie dodatkowo wymaga doświadczalnego określenia dla

danej masy charakterystyki przepuszczalności, której znajomość jest konieczna do określenia stałych występujących w równaniu. Porównując wyniki obliczeń z doświadczalnymi wątpliwa wydaje się przydatność tej skomplikowanej metody.

Również badania J. Szreniawskiego [16,17], Le-Kona-Ha [9], ani M. Rzczkowskiego [13] nie pozwalają na określenie rozkładu wilgoci w formie zalanej ciekłym metalem.

J. Szreniawski na podstawie przeprowadzonych badań rozkładu wilgoci w kształtkach znormalizowanych stwierdził, że w miarę upływu czasu kontaktu formy z metalem, prędkość przesuwania się fali o stałej wilgotności maleje:

$$V_c = dx/dt = A \cdot B \cdot t^{A-1}, \quad (2)$$

A i B – zależą od rodzaju formy, zalewanego metalu i wilgotności początkowej.

Le-Kong-Ha [9] zajął się jedynie ogólnym określeniem zależności pomiędzy maksymalną osiągniętą wilgotnością w podgrzewanej masie, a jej początkowymi parametrami, takimi jak wilgotność, stopień ubicia i ziarnistość.

M. Rzczkowski [13] również nie zaproponował metody analitycznego wyznaczania rozkładu wilgoci w ogrzewanej masie formierskiej. Poza ogólnymi wnioskami dotyczącymi własności termofizycznych wilgotnych mas formierskich, przedstawił zależność na szybkość przemieszczania się strefy parowania i kondensacji w postaci:

$$\begin{aligned} X_1 &= A_1 \cdot \sqrt{t}, \text{ dla strefy parowania,} \\ X_2 &= A_2 \cdot \sqrt{t}, \text{ dla strefy kondensacji.} \end{aligned} \quad (3)$$

Wzory te są zbieżne z zależnościami podanymi wcześniej przez C.T. Marek'a [10] i M.P. Chowdiach'a [2]. Metoda badań polegająca na zrywaniu napromieniowanej jednostronnie próbki i utożsamienie miejsca zerwania ze strefą kondensacji (jako najślabszym przekrojem zrywaniem) pozwoliło M. Rzczkowskiemu na określenie zmian wytrzymałości w strefie przewilżonej w zależności od temperatury napromieniowania, w postaci:

$$R^T = A \cdot e^{kT} + B \quad (4)$$

Ponadto [13] określił szybkość przemieszczania się strefy przewilżonej w zależności od temperatury napromieniowania, jako:

$$h_k = A \cdot T + B \quad (5)$$

gdzie: h_k – wysokość zerwania próbki,

T – temperatura,

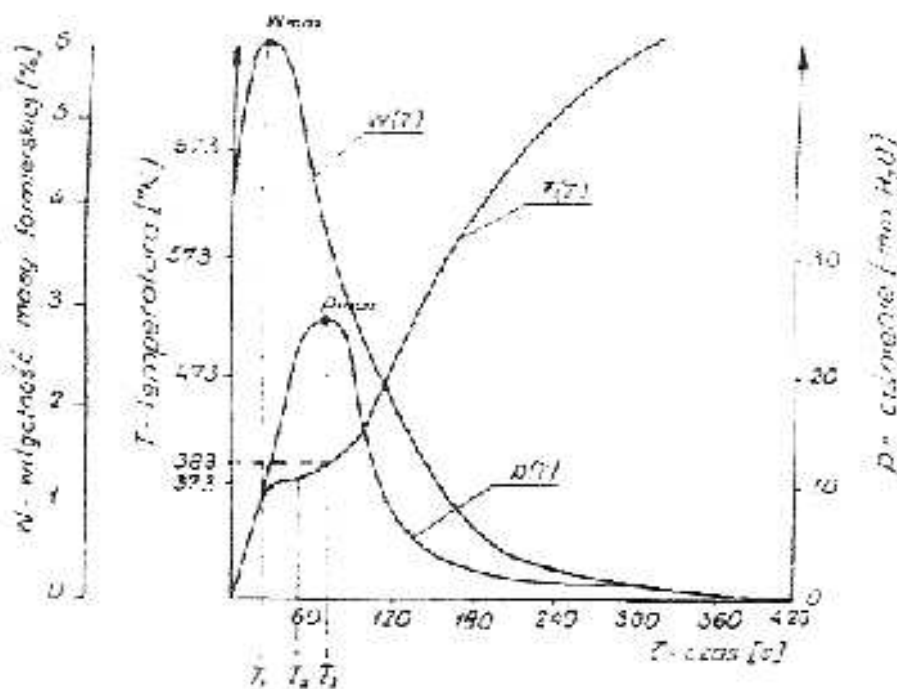
A, B – stałe charakteryzujące daną masę.

Utrata wytrzymałości masy wilgotnej pod wpływem napromieniowania, pozwala już na ilościowe określenie zarówno zmiany tej wytrzymałości (4), jak i odległości strefy przewilżonej od czoła formy (5).

Metoda ta staje się jednakże niewygodna do szybkiej analizy, w związku z koniecznością przeprowadzenia odpowiedniej ilości badań, pozwalających na wiarygodne określenie przedstawionych zależności. Ponadto, wyniki otrzymywane są w warunkach laboratoryjnych, na próbkach, więc odbiegających od rzeczywistości panujących w formie odlewniczej. Otrzymane, zatem tą drogą rezultaty, mogą być traktowane jedynie jako porównawcze.

Jedyną metodą analityczną, przydatną do określania rozkładu wilgoci w ogrzewanej formie, jest metoda przedstawiona przez P.N. Aksjonowa i A.P. Truchowa [1]. Istotnym elementem w metodzie było przejście od krzywej rozkładu temperatury w formie z masy suchej, za pomocą równań bilansu cieplnego uwzględniających ciepło podgrzewania i odparowania wody, do krzywej rozkładu temperatury w formie z masy wilgotnej, zgodnej w swym charakterze z powszechnie uzyskiwaną krzywą doświadczalną (z przystankiem w temperaturze wrzenia wody – 100 °C). Zakładając w obliczeniach, że ilość wilgoci odparowanej jest równa ilości wilgoci skondensowanej w głębszych warstwach formy. Otrzymany tą metodą rozkład wilgotności był bardzo zbliżony do wyników eksperymentalnych. Metoda ta nie pozwala na określenie rozkładu wilgoci w formie, jeżeli nie wykształci się w pełni strefa przewilżenia, czyli np. dla małych czasów obserwacji trwania procesu). Autorzy [1] zakładali, że również przy niskich temperaturach zalewanego metalu (np. przy odlewaniu stopów aluminium), nie wykształci się w pełni strefa przewilżenia.

Jak wynika z mechanizmu powstawania wad typu stropy, żyłki i zaprószenia, moment krytyczny występuje właśnie w początkowych chwilach po zalaniu formy metalem, zanim wytworzy się przy ściankach wnętrza formy cienka warstewka zakrzepłego metalu. W celu przeciwdziałania tym wadom istotna jest znajomość rozkładu wilgoci właśnie w tych, początkowych momentach procesu. M. Rzczkowski [13], po przeprowadzeniu analizy wykonanych badań, porównał krzywe ciśnienia, temperatury i rozkładu wilgoci w formie piaskowej zarejestrowane na głębokości 6 mm od czoła próbki (rys.3).

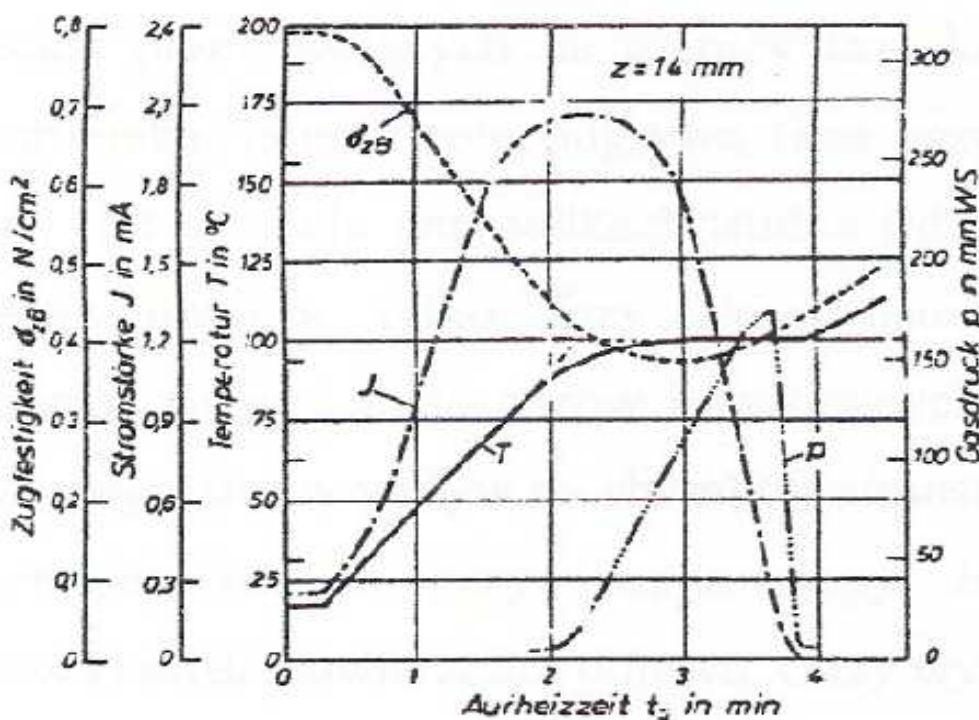


Rys.3. Rozkład temperatury, ciśnienia i wilgotności w wilgotnych formach piaskowych na głębokości 6 mm od czoła badanej próbki [13].

Na wykresie tym przedstawiono krzywe rozkładu ciśnienia, temperatury i wilgotności dla masy o składzie 90% piasku kwarcowego z Przywar Opolskich, 10% bentonitu V6 oraz 3,5% wody. Obserwując przebieg krzywych P , W i T w funkcji czasu możemy zauważyć, że w momencie zalania formy następuje bardzo szybki wzrost temperatury do 100°C i nieznaczny przyrost ciśnienia. Temperatura wrzenia wody, tj 100°C utrzymuje się w badanej płaszczyźnie 6 mm przez okres $t_1=t_2-t_1$, a ciśnienie wzrasta, lecz nie osiąga

maksimum. Czas ten jest okresem, w którym w stosunku do położenia czujnika ($x=6$ mm) przemieszcza się strefa przewilżenia, począwszy od granicznej powierzchni kondensacji do granicznej powierzchni parowania. W czasie t_3 temperatura podnosi się nieznacznie powyżej 100°C , wówczas ciśnienie osiąga maksimum – P_{\max} . Oznacza to, że ciśnienie mieszaniny pary wodnej i gazów osiąga swoje maksimum po przejściu strefy przewilżonej.

Kompleksowe badania przebiegu wyżej wymienionych wielkości w czasie $\{W(t), T(t), P(t)\}$ przeprowadził również zespół niemieckich uczonych z Uniwersytetu w Karlsruhe [18]. Na rys. 4 przedstawiono graficznie uzyskane wyniki.



Rys. 4. Zmiana temperatury T , wilgotności W , ciśnienia gazów p i wytrzymałości na rozrywanie w czasie nagrzewania t [18].

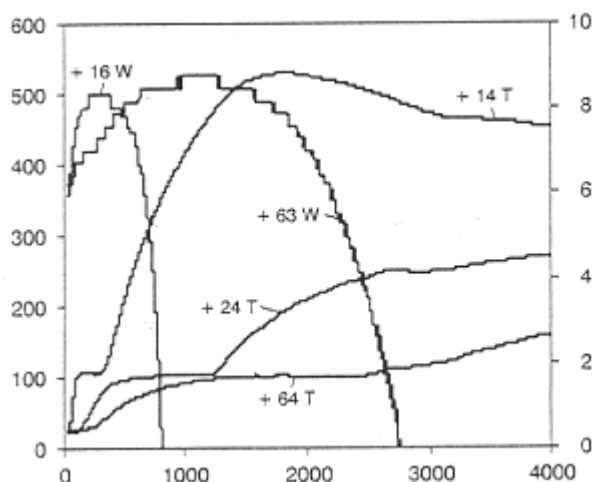
Jak widać, przebieg krzywych oraz ich wzajemne przesunięcie między sobą różnią się w pewnym stopniu od wyników otrzymanych przez M. Rzekzkowskiego [13].

Zarejestrowane ciśnienie gazu po osiągnięciu maksimum gwałtownie spada do zera (ciśnienie otoczenia). Ponadto maksimum ciśnienia na wykresie otrzymanym przez M. Rzekzkowskiego, występuje wówczas, kiedy wilgotność masy jest jeszcze na dość wysokim poziomie, w okresie ponownego wzrostu temperatury. Z wyników otrzymanych na Uniwersytecie w Karlsruhe wynika, że maksimum ciśnienia występuje jeszcze w okresie przystanku temperaturowego, lecz w momencie, gdy wilgotność jest bliska zera.

Rozbieżność w wynikach badań przeprowadzonych przez różnych uczonych, prowadzi do wniosku o konieczności weryfikacji dotychczasowych wyników i przeprowadzenia badań, przy użyciu nowocześniejszych i dokładniejszych urządzeń pomiarowych.

W pracy [19] zarejestrowano zmiany wilgotności w materiale formy po odlewaniu za pomocą miernika wilgotności typu H100plus firmy datecGmbH. Dokonano bezpośredniego pomiaru wilgotności w różnych miejscach materiału formy. Rys. 5 pokazuje, jak podwyższa się wilgotność w strefie 100°C od 6,6% do około 8% (części masowych wody). Wilgotność podwyższa się nieznacznie wraz ze wzrostem oddalenia się

strefy przewilżonej od powierzchni graniczącej. Wzrastająca ilość wody rozkłada się zamiast tego również we wzrastającej w miarę oddalania od powierzchni graniczącej strefie 100°C.



Rys. 5 Rezultaty pomiaru temperatury (T/t) i wilgotności (W/t) w masie bentonitowej [19]

Z przebiegu krzywej wilgotności (16W) widać, że maksimum osiąga pod koniec przystanku temperaturowego na krzywej temperatury (14T), co sugerowałoby o dużej bezwładności zastosowanego miernika wilgotności. Dotyczy to przede wszystkim warstw położonych blisko powierzchni styku metal-forma. Poza tym, charakter krzywej spadkowej wilgotności zdecydowanie odbiega od krzywych eksperymentalnych uzyskiwanych przez innych autorów [13,14,15,16,17].

Próby eksperymentalno-symulacyjne przeprowadzone pod kierunkiem Prof. Zenona Ignaszaka [7,8] dotyczące identyfikacji strefy przewilżonej w formie wykazały, iż istnieje potrzeba stworzenia bazy wiarygodnych danych w oparciu o badania eksperymentalne. Znaczne rozbieżności uzyskane w wynikach badań eksperymentalno – symulacyjnych szczególnie dla warstw bliżej położonych od powierzchni definiującej układ odlew-forma, według [8] może wynikać z niewłaściwego oszacowania wilgotności w tych podobszarach.

Jak widać problem strefy przewilżonej i towarzyszących jej zjawisk jest nadal aktualny pomimo dysponowania doskonałymi narzędziami jakimi są komputerowe symulacje procesów technologicznych, z modelowaniem zachodzących najważniejszych zjawisk fizycznych jakie im towarzyszą. Problem tkwi w tym, iż modele w oparciu, o które stworzono systemy symulacyjne jak np. Magmasoft i NovaFlow&Solid (oba oparte o model cieplny), wykazują wciąż ograniczenia w zakresie praktycznej aplikacji z powodu braku wiarygodnych danych i walidacji. Istniejąca sytuacja wymaga ciągle prowadzenia nowych prac i badań w tym zakresie.

3. Badania eksperymentalne

Eksperyment przeprowadzono w warunkach porównywalnych z warunkami panującymi w rzeczywistej formie odlewniczej. Celem tego eksperymentu było zarejestrowanie zmian wilgotności i ciśnienia gazów w strefie przewilżonej i odpowiadający tym zmianą profil temperatury masy w czasie.

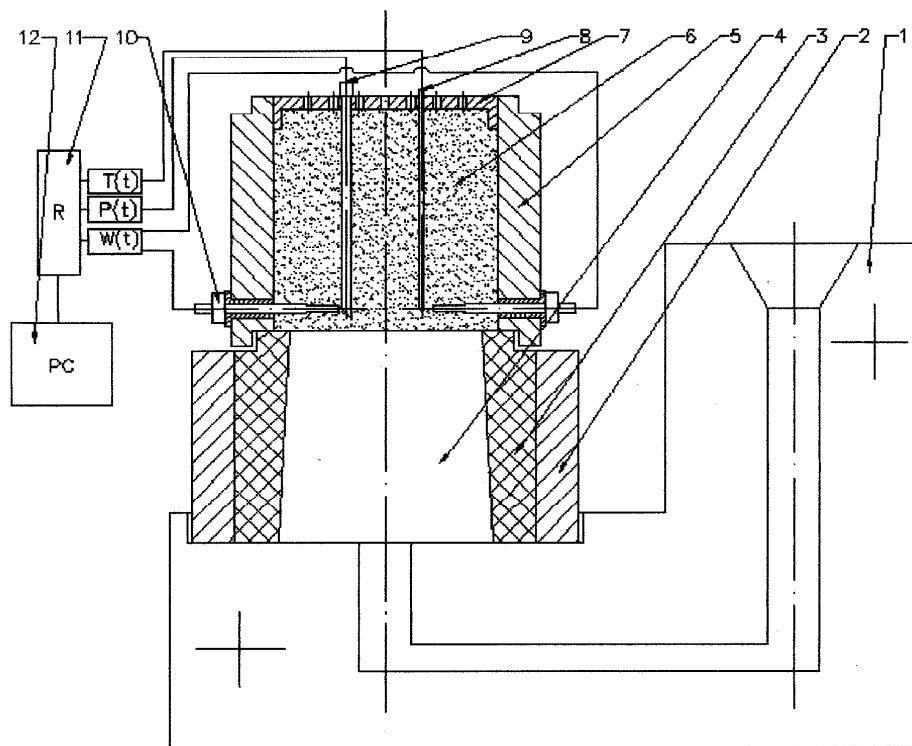
Ogólny schemat stanowiska do jednoczesnej rejestracji zmian temperatury T , wilgotności W i ciśnienia P we wskazanym miejscu formy przedstawiono na rysunku 6.

Wnękę formy doświadczalnej stanowiła tuleja (3) wykonana z masy szamotowej. Górną powierzchnię wnętrza formy stanowiła próbka (6) badanej masy, zagęszczanej w specjalnej tulejce (5). Tulejkę (5) wyposażono w podstawkę montażową (7) z szeregiem

otworów odpowietrzających i elementów bazowych dla czujników temperatury (8) i sond metalowych (9). Sposób rozmieszczenia czujników umożliwia jednoczesny pomiar temperatury i ciśnienia (T , P) w trzech różnych odległościach x od powierzchni układu metal-forma. Podstawka (7) stanowiła integralną część próbki (6) badanej masy, gwarantując powtarzalność położenia końcówek termoelementów i sond mierzących ciśnienie gazów. Podczas ubijania masy otwory sond zatykane były zatyczkami wykonanymi z drutu stalowego, które wystawały 0,5mm ponad krawędź sond. Przestrzeń, jaka powstała nad sondą zapewniała równomierny przepływ gazów na mierzonym poziomie próbki.

W tulejce (5) na różnych wysokościach jej obwodu od górnej krawędzi, wykonano trzy pary otworów zorientowanych względem siebie o kąt 180° . W otworach tych umieszczano odpowiednie pary elektrod (10) wraz z tulejkami izolacyjnymi. Każda z trzech par elektrod służyła do pomiaru przewodności elektrycznej masy w trzech różnych odległościach od powierzchni układu metal-forma. Położenie odpowiedniej pary elektrod odpowiadało ściśle położeniu odpowiednich końcówek termoelementu i sondy. Elektrody wraz z tulejkami izolacyjnymi były montowane w tulei pomiarowej po wykonaniu próbki. Po wprowadzeniu elektrod i odwróceniu tulejki podstawką (7) do góry, w otwory bazowe wprowadzano odpowiednie igły o wymaganej długości wykonując kanały w masie dla późniejszego usadowienia w nich termoelementów (8). Tak przygotowaną próbkę (6) wraz z tuleją (5) i podstawką (7) oraz elektrodami (10) nakładano na tuleję szamotową (3) usadowioną wcześniej w kokili (1).

Po wprowadzeniu końcówek termoelementów (8) w odpowiednie kanały, podłączeniu końcówek elektrod do systemu pomiarowego (11) oraz po podłączeniu przewodem elastycznym końcówki sondy (9) z przetwornikiem ciśnienia $p(t)$, forma była przygotowana do zalania stopem odlewniczym.



Rys. 6. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – kokila, 2 – tuleja, 3 – tuleja szamotowa, 4 – wnęka formy, 5 – tuleja próbki, 6 – próbka, 7 – podstawka, 8 – termoelement, 9 – sonda do pomiaru ciśnienia, 10 – elektroda, 11 – mikroprocesorowy rejestrator, 12 – komputer PC.

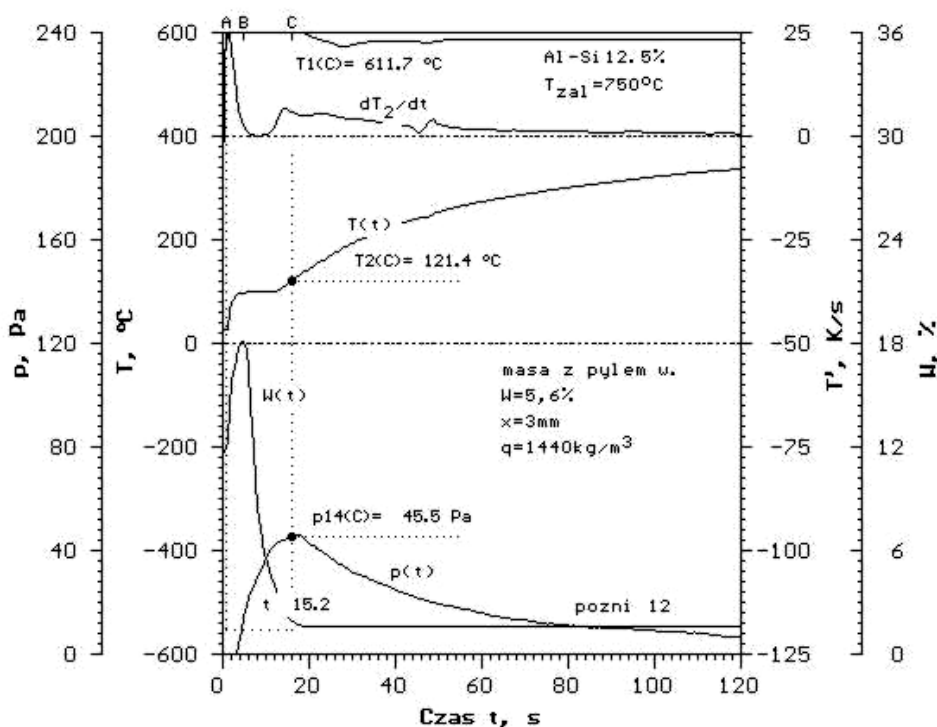
Po 120 sekundach formę zalewano ciekłym metalem. Przyjęty dla potrzeb eksperymentu czas 120 sekund był niezbędny dla ustabilizowania się stanu naprężeniowo – energetycznego na powierzchni masa – elektroda po umieszczeniu elektrod w zagęszczonej masie. Jest to tak zwany okres kondycjonowania próbki.

Formy zalewano stopem Al-Si12,5% charakteryzujący się długim przystankiem temperatury krzepnięcia (krzywa T_1 w górnej części wykresu – rys. 7). Temperaturę zalewania ustalono na 750 °C. Do badań użyto odświeżanej masy formierskiej z bentonitem SPECJAL z Zębca i pyłem węglowym, stosowanej w Odlewni DOZAMET z Nowej Soli. Dla potrzeb eksperymentu przyjęto zawyżony stopień nawilżenia masy (około $W = 5$ do 6%) w celu wywołania większego efektu termodynamicznego. Po oznaczeniu koniecznej naważki masę formierską zagęszczano w tulejce (5) do gęstości pozornej $q = 1440$ i 1500 kg/m^3 .

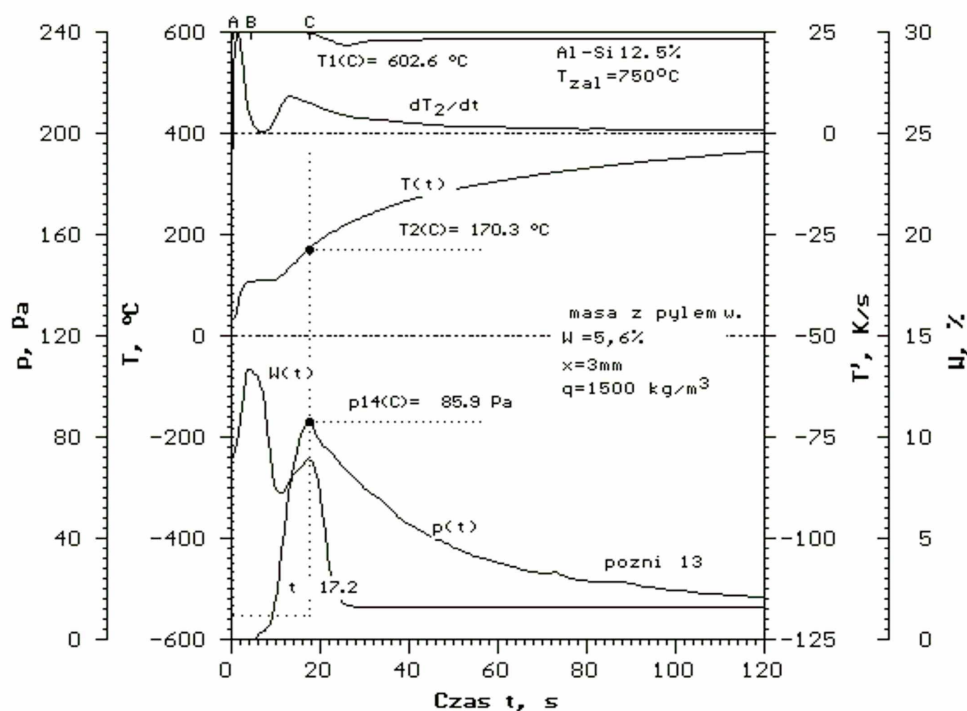
4. Wyniki badań

Na rysunku 7a przedstawiono odpowiednio krzywe zmian temperatury $T(t)$ i jej pierwszej pochodnej dT/dt , wilgotności $W(t)$ oraz ciśnienia $P(t)$ w przekroju formy, jako funkcje czasu. Pomiar był przeprowadzony w warstwie oddalonej od powierzchni układu metal – forma o $x=3 \text{ mm}$ dla gęstości pozornej masy $q=1440 \text{ kg/m}^3$. System rejestrujący był uruchamiany automatycznie w momencie zalewania formy. Gradient temperatury spowodowany wypełnianym wnękę formy ciekłym metalem powoduje zjawisko przenoszenia ciepła w masie formierskiej. Na krzywej $T(t)$ występuje charakterystyczny wyraźny przystanek temperatury przy około 100°C, odpowiadający temperaturze parowania wody. Zarejestrowanie na krzywej $T(t)$ przystanku temperatury dla warstwy $x = 3 \text{ mm}$, świadczy o bardzo małej bezwładności użytych termoelementów jak i systemu pomiarowego. Dotychczas prezentowane przez innych badaczy [1,2,4,5,15] wyniki pomiarów rozkładu temperatury z wyraźnym przystankiem, dotyczyły warstw położonych na głębokości powyżej 5 do 10mm [13,18]

a)



b)



Rys.7. Zmiana temperatury $T(t)$, pochodnej temperatury dT/dt , wilgotności $W(t)$, oraz ciśnienia $p(t)$ dla masy z pyłem węglowym o wilgotności 5,6%. Odległość warstwy masy od wnęki formy $x = 3\text{mm}$ i gęstości pozornej q : a). 1440 kg/m^3 , b). 1500 kg/m^3 .

Z przebiegu krzywej zmian wilgotności $W(t)$, zaobserwowano wzrost jej wartości ze wzrostem temperatury masy. Maksymalną wartość wilgotności zarejestrowano na początku przystanku temperatury po czasie około 4 sekund, po czym obserwowano gwałtowny spadek, by pod koniec przystanku osiągnąć stan masy suchej. Z przedstawionej na wykresie krzywej $P(t)$ można stwierdzić, że maksymalne ciśnienie gazów $p_{14}(C) = 45,5$ Pa dla mierzonej warstwy zarejestrowano pod koniec przystanku temperatury, tuż po przejściu strefy przewilżonej w czasie 15,2 sekundy, a temperatura masy w warstwie osiągnęła wartość $T_2(C) = 121,4^\circ\text{C}$.

Na rysunku 7b przedstawiono przebiegi zmian temperatury $T(t)$ i jej pierwszej pochodnej dT/dt , wilgotności $W(t)$ oraz ciśnienia $P(t)$ w warstwie oddalonej od powierzchni styku metal – forma o $x=3\text{ mm}$, dla gęstości pozornej masy $q=1500\text{ kg/m}^3$.

Na krzywej zmian temperatury $T(t)$ zarejestrowano po 4 sekundach od uruchomienia systemu przystanek temperaturowy trwający około 7 sekund. Maksymalną wartość wilgotności zarejestrowano również jak i dla masy o mniejszej gęstości na początku przystanku temperatury, przy czym na krzywej zaobserwowano drugie maksimum o niższej wartości niż pierwsze. Na obecnym etapie badań wyjaśnienie tego zdarzenia jest problematyczne i wymaga dalszych badań sprawdzających. Pomiar zmian ciśnienia $P(t)$ potwierdził i w tym przypadku wzrost wartości ciśnienia pod koniec przystanku na krzywej temperatury $T(t)$, a temperatura masy w warstwie w momencie wystąpienia maksymalnej wartości ciśnienia $p_{14}(C) = 85,9\text{ Pa}$ osiągnęła wartość $T_2(C) = 170,3^\circ\text{C}$. Należy zauważyć, że wzrost gęstości pozornej masy spowodował wyraźny wzrost ciśnienia gazów, wzrost temperatury masy (punkt C) oraz dłuższy (o parę sekund) czas, po którym masa w warstwie osiąga stan suchy.

5. Podsumowanie

Opisany układ pomiarowy okazał się przydatny w badaniach wilgotnych mas formierskich poddanych oddziaływaniu temperatury ciekłego metalu do śledzenia i rejestracji szybkozmiennych procesów termodynamicznych już w początkowym okresie zalewania.

Opisane i zarejestrowane zjawisko transportu ciepła z wyraźnym przystankiem temperatury już dla warstwy oddalonej o $x = 3\text{mm}$ od powierzchni styku metal-forma, świadczy o dużej czułości układu rejestrującego. Wyniki badań wielu autorów, dotyczące zmian temperatur dla warstw położonych na głębokościach mniejszych od 5 a nawet do 10mm, przedstawiają jedynie załamanie na krzywej w granicach 100 do 200°C.

W oparciu o wyniki przedstawione na rysunku 7, można zauważyć wyraźne przyspieszenie narastania ciśnienia w warstwie, w momencie opuszczania jej przez strefę przewilżenia. Wartości maksymalne ciśnienia zarejestrowano poza przystankiem temperatury w strefie masy suchej, przed powierzchnią parowania. Natomiast, wzrost wilgotności masy w warstwie występuje na początku przystanku temperatury i tworzenia się strefy przewilżenia. Powyższe spostrzeżenia były opisywane dość licznie w literaturze fachowej w większości przypadków w formie hipotez, bądź konkretnych wniosków z badań, w których warunki przeprowadzanych eksperymentów znacznie odbiegały od warunków rzeczywistych, jakim podlegała forma odlewnicza wypełniona ciekłym metalem.

Wydaje się, że zastosowanie proponowanej metody pomiarowej opartej na przetwarzaniu danych analogowych, użycie czujników o bardzo małej bezwładności oraz zachowanie maksymalnej precyzji w pracach koniecznych do przeprowadzenia eksperymentu, pozwala nie tylko na śledzenie zmian wilgotności i ciśnienia w strefie przewilżonej, ale stwarza również możliwości w sposób pośredni, do uzyskania charakterystyk termofizycznych mas $\{\lambda(T,t)$ i $c_p(T,t)\}$ bardziej zbliżonych do rzeczywistych i wynikających z ujęcia definicyjnego tych współczynników.

6. Literatura

1. Aksjonow P.N., Truchow A.P.: *Litiejnoje proizwodstwo*, nr 5, 1972.
2. Chowdiach M.P.: *Giesserei*, nr 19, 1971, s. 582-590.
3. Dzwonnik I.: *Przegląd Odlewnictwa*, nr 5-6, 1981.
4. Hrbek A., Hawliczek F., Jeniczek L.: *Zona rekondensacji*, 34 MKO, Paryż, 1967.
5. Gawlikowska M., Ryglicki R.: *Metoda kompleksowego pomiaru wilgotności i temperatury w formie*, Prace IO, nr 2, Kraków, 1977.
6. Gawlikowska M., Ryglicki R.: *Pomiar szybkich zmian wilgotności i temperatury w formie*, Prace IO, nr 2-3, Kraków, 1982.
7. Graczyk L., Ciura J., Ignaszak Z.: *Sposób eksperymentalno – symulacyjnej identyfikacji ruchu strefy przewilżonej*, VIII Modelling of Casting and Foundry Processes, 21-22 October 2004, Poznań-Śrem (Poland).
8. Ignaszak Z., Graczyk L., Popielarski P.: *Eksperymentalno-symulacyjny sposób identyfikacji strefy przewilżonej w formie*, *Archiwum Odlewnictwa*, vol. 6, nr 22, 2006, s. 216-223.
9. Le-Kong-Ha: *Litiejnoje proizwodstwo*, nr 5, 1970.
10. Marek C.T.: *Modern Casting*, nr 2, 1968.
11. Mutwil J., Żygadło M.: *Mikrokomputerowy system do badania zjawisk i procesów odlewniczych*, *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*, vol. 20, nr 1, 2000, s. 117-126.
12. Rau R. H. G., Marek C.T.: *Modern Casting*, nr 1, 1968.
13. Rzeczkowski M.: *Zeszyty Naukowe WSIInż*, nr 17, *Mechanika 2*, Zielona Góra, 1973.

-
14. Szmigielski T.: Pomiary ciśnienia gazów w formie piaskowej, *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*, vol. 24, nr 3 spec., 2004, s. 163-171.
 15. Szmigielski T.: Rejestracja zmian wilgotności w piaskowej formie nagrzewanej jednostronnie, *Archiwum Odlewnictwa*, vol. 3, nr 8, 2003, s. 267-272.
 16. Szreniawski J.: *Piaskowe formy odlewnicze*, WNT, W-wa, 1968.
 17. Szreniawski J.: *Przegląd Odlewnictwa*, nr 3, 1966.
 18. Von Ahmet Avici, Schroder A, Macheerauch E.: *Giesserei-Forschung*, rocznik 31, zeszyt nr 1, 1979, s.1-14.
 19. Wolff H., Engler S., Schrey A., Wolf G.: *Giessereiforschung* nr 4, 2002.

ZMNIĘSIENIE WRAŻLIWOŚCI MAS BENTONITOWYCH NA ZMIANĘ WILGOTNOŚCI

Stanisław M. DOBOSZ¹

Streszczenie

Niniejszy artykuł ma za zadanie przedstawić technologiczne możliwości zmniejszania wrażliwości mas bentonitowych na zmiany wilgotności. Wynikają one poprzez zastosowanie odpowiedniej jakości bentonitu oraz zastosowania specjalnego dodatku, nowego materiału, który wpływa na stabilizację właściwości wytrzymałościowych.

1. Wprowadzenie

Podstawowym tworzywem dla wykonywania form odlewniczych pozostają – i w dającej się przyszłości pozostaną – syntetyczne masy bentonitowe. Masy te ze względu na odtwarzalny sposób wiązania mogą być używane wiele razy. Skład mas oparty jest o hydrofilny bentonit co powoduje, że proces ich wiązania jest ściśle związany z zawartością wody. Niestety ograniczone – choć wysokie – zdolności sorpcji wody przez bentonit powodują, że podstawowe właściwości technologiczne tych mas są funkcją wilgotności, ale tylko przy jednej wilgotności otrzymuje się maksymalne (najlepsze) wartości danej właściwości technologicznej. Na dodatek najlepsze wartości różnych parametrów występują przy różnych wilgotnościach. Szczególnym przykładem jest wytrzymałość masy, dla których nawet niewielkie obniżenie lub zwiększenie wilgotności – w stosunku do wartości optymalnej – skutkuje szybkim spadkiem jej wartości. Utrzymanie wilgotności w tak wąskich granicach jest trudne do realizacji w praktyce a ponadto powoduje, że inne właściwości nie osiągają swych optymalnych wartości. Stąd bardzo ważne z naukowego i praktycznego punktu widzenia stają się prace, które umożliwiają zwiększenie stabilności właściwości mas w funkcji wilgotności.

2. Wiązanie mas bentonitowych

Wszystkie lepiszcza mają budowę pakietową, co oznacza, że cząstka illitu, kaolinitu czy montmorylonitu składa się z trzech warstw, która ma wymiar poniżej 20 μm . Trójwarstwowa struktura montmorylonitu złożona jest z dwóch zewnętrznych warstw krzemowo - tlenowych i środkowej warstwy glino – tlenowej. Warstwa krzemowo - tlenowa składa się z czworo ściennych krzemianów, tworzących sieć heksagonalną, a warstwa glino - tlenowa złożona jest z gibbsytu $\text{Al}(\text{OH})_3$, który zawiera oktaedryczny glin Al^{3+} . Warstwy tworzą pakiety, związane ze sobą dość słabymi siłami [1-3,5]. Cząstka montmorylonitu jest bardzo aktywna – ma dodatni ładunek, który neutralizuje dużą koncentrację ładunków ujemnych na swojej powierzchni. Po dodaniu – do mieszaniny piasku i lepiszcza – wody, jej cząstki są sorbowane na powierzchni lepiszcza. Wynika to z polarnej budowy czyli dipolowego charakteru cząsteczki wody, która jest wynikiem jej asymetrycznej budowy oraz elektrostatycznego oddziaływania ładunków różnoimiennych.

Cząsteczki lepiszcza posiadają ładunki elektryczne albo na zewnętrznych powierzchniach (krawędzie zerwanych wiązań płytek), albo na zewnętrznych powierzchniach pakietów (zdolność do pęcznienia i wymiany jonów, jak w montmorylonitach). Wynikiem takiego oddziaływania jest powstawanie na powierzchni lepiszcza warstw wody

¹ Prof. dr hab. inż., Kierownik Zakładu Tworzyw Formierskich i Ochrony Środowiska, Wydział Odlewnictwa AGH

monomolekularnej zwanej także wodą związaną lub sztywną. Charakterystyczną cechą montmorylonitów jest ich bardzo wysoka zdolność do pęcznienia w środowisku wodnym. Woda zostaje wchłonięta także w przestrzenie między pakietowe, co powoduje pęcznienie, zwiększając kilkakrotnie odległość między warstwami z 0,94 nm do 2,1 nm. Mówimy w tym przypadku o zmiennym parametrze sieciowym, którym charakteryzują się montmorylonity. Minerale zawierające odpowiednio wysoką zawartość montmorylonitu nazywamy bentonitami [3].

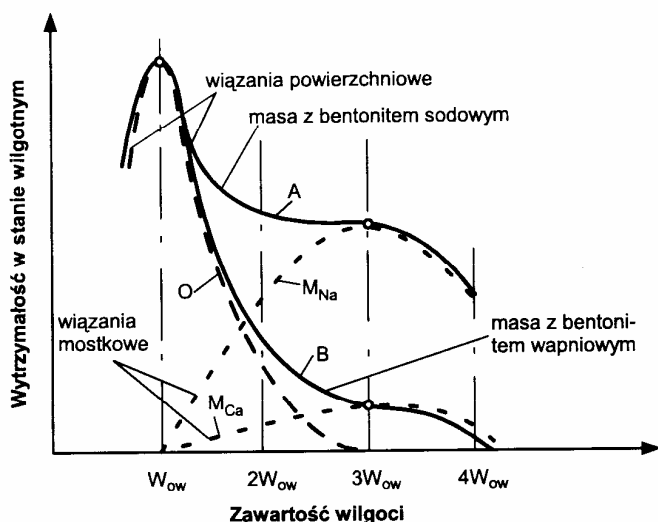
Dodatek wody do masy ma zasadniczy wpływ na właściwości wytrzymałościowe klasycznych mas bentonitowych. Jeżeli masa jest sucha wówczas powierzchnie styku między cząsteczkami masy są bardzo małe. W takim przypadku wytrzymałość masy jest bliska zeru. Po dodaniu wody cząsteczki lepiszcza pęcznią, zwiększa się powierzchnia styku między cząsteczkami masy, co powoduje wzrost jej właściwości wytrzymałościowych. Jednak zdolność przyłączania wody przez cząsteczki lepiszcza jest ograniczona i po wprowadzeniu zbyt dużej ilości część pozostaje jako woda niezwiązana i wpływa na spadek wytrzymałości.

W zależności od rodzaju kationów wymiennych (między pakietowych) rozróżnia się montmorylonity: sodowe, potasowe, wapniowe, amonowe i inne. Odległość pakietów w strukturach montmorylonitów zależy od rodzaju kationu wymiennego i wzrasta w miarę nasycenia wodą. Najcenniejszym dla odlewnictwa minerałem jest montmorylonit sodowy. Ale zdolność do wymiany jonów, jaką cechują się montmorylonity, umożliwia polepszenie jakości odlewniczych bentonitów wapniowych czy magnezowych przez zastąpienie na pozycjach wymiennych kationów Ca^{2+} lub/i Mg^{2+} kationami Na^+ . Jest to proces aktywacji, który przeprowadza się zwykle podczas przeróbki kopaliny na bentonit odlewniczy, a rzadziej podczas sporządzania (mieszania) masy. Uzyskany produkt, nazywany jest bentonitem aktywowanym i jest on najczęściej stosowany, ponieważ naturalne bentonity sodowe występują w przyrodzie bardzo rzadko. Jeśli zawartość rozpuszczalnych węglanów jest mniejsza od 0,4% to zbadany materiał jest naturalnym bentonitem sodowym.

Często twierdzi się, że masy z bentonitem sodowym mają wyższą wytrzymałość. Nie znajduje to potwierdzenia w mechanizmie wiązania. Wartość wytrzymałości w temperaturze otoczenia zależy przede wszystkim od zawartości montmorylonitu w bentonicie. Natomiast bentonit sodowy ma inną bardzo ważną właściwość. Rysunek 1 ilustruje zmiany wytrzymałości masy z bentonitem sodowym i masy z bentonitem wapniowym w stanie wilgotnym wraz ze zwiększającą się wilgotnością [4]. W_{ow} jest wilgotnością optymalną pod względem wytrzymałości i wyraźnie widać, że przy takiej wilgotności obie masy osiągają taką samą wytrzymałość w stanie wilgotnym. Różnica ujawnia się dopiero przy zwiększeniu wilgotności W_{ow} , kiedy to pojawia się różnica w sile wiązań mostkowych obydwóch bentonitów. A zatem można stwierdzić, że zastosowanie bentonitu sodowego zmniejsza wrażliwość masy na przewilżenie, czyli stabilizuje właściwości masy. Dodatkowo wpływa to na polepszenie jakości masy w czasie zalewania. Po zalaniu formy ciekłym metalem mamy do czynienia ze zjawiskiem występowania tzw. strefy przewilżonej. Powstaje ona na skutek wyparowania wody z powierzchniowych warstw wnętrza formy. Powstała para wodna przepływając w głąb formy przestrzeniami między ziarnowymi napotyka na warstwę masy o temperaturze poniżej 100°C i tam następuje jej kondensacja. Woda ta sumując się z wilgotnością roboczą masy nadaje tej strefie wysoką wilgotność. Wilgotność strefy przewilżonej jest około trzykrotnie wyższa od wilgotności masy w temperaturze otoczenia (równa się $3W_{ow}$). Jest to zatem strefa charakteryzująca się bardzo niską wytrzymałością, co może być powodem pogorszenia dokładności wymiarowej odlewów oraz przyczynia się do powstawania wielu wad odlewniczych jak na przykład strupy i blizny. Jak widać w strefie przewilżonej wytrzymałości masy z bentonitem sodowym są znacznie wyższe

od wytrzymałości masy z bentonitem wapniowym. A zatem zastosowanie takich bentonitów zmniejsza częstotliwość występowania tych wad.

Poza tym obserwuje się znaczne zmniejszenie wrażliwości masy na przewilżenie, co wpływa na stabilizację właściwości masy. Można więc stwierdzić, że warunkiem otrzymania wysokiej jakości masy formierskiej jest zastosowanie dobrego bentonitu tzn. zawierającego jak najwyższą zawartość sodowego (naturalnego lub aktywowanego) montmorylonitu [6]. Przykładem takich bentonitów mogą być produkty aktywowane o zawartości montmorylonitu około 90% i wskaźniku metylowym 390 mg/g. Dają one wytrzymałości na ściskanie na wilgotno (dla masy o zawartości 5 cz. wag. bentonitu) odpowiednio: 0,084 i 0,09 MPa a wytrzymałości na rozciąganie 0,020 i 0,019 MPa. Produkowane są także tak zwane bentonity hybrydowe o zawartości montmorylonitu 95% i wskaźniku metylowym 430 mg/g.

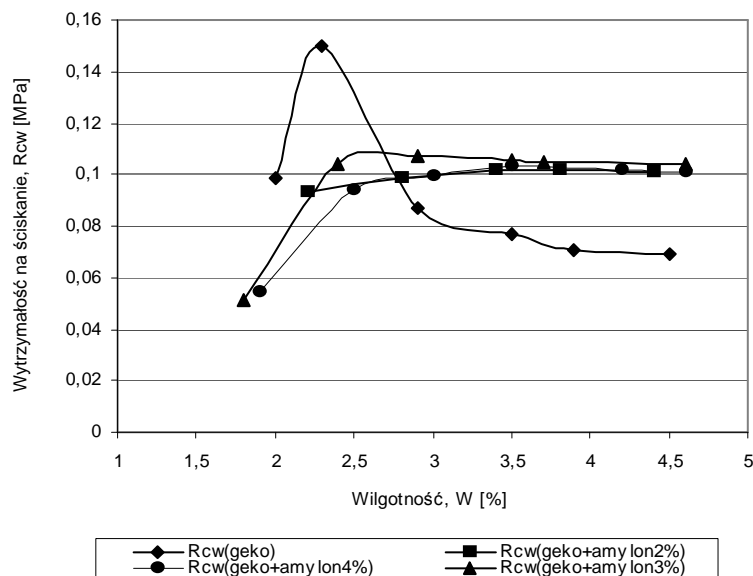


Rys. 1. Schematyczny wykres zmiany wytrzymałości w stanie wilgotnym wraz ze zwiększaniem wilgotności masy [4].

Daje on wytrzymałości: $R_c^w = 0,15$ MPa, a $R_m^w = 0,023$ MPa. Stosując tego rodzaju bentonity można znacznie zmniejszyć zawartość lepiszcza w masie i ograniczyć stopień odświeżania, zapewniając jednocześnie odpowiednie właściwości technologiczne masy [6].

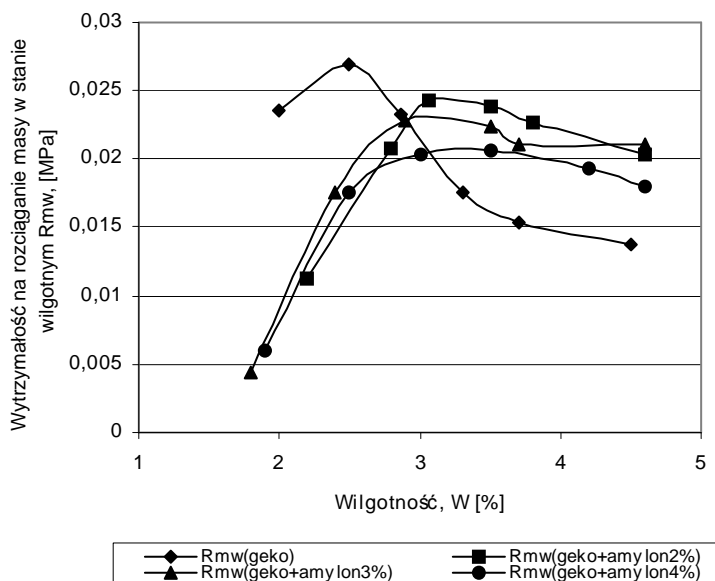
3. Badania własne

W ramach badań własnych przeprowadzono próby zastosowania specjalnego dodatku, który miał na celu dalszą poprawę stabilności właściwości wytrzymałościowych mas bentonitowych. Tym dodatkiem jest amylon[®], dostarczany przez czeską firmę o takiej samej nazwie. Jest to naturalny, organiczny produkt pochodzenia skrobiowego. Przeprowadzono szeroki zakres badań właściwości mas z tym dodatkiem, z czego niewielką ich część przedstawiono w niniejszym opracowaniu [7].



Rys. 2. Wpływ dodatku amyłonu na wytrzymałość na ściskanie

Na rysunku 2 przedstawiono wpływ dodatku amyłonu na wytrzymałość na ściskanie (R_c^w) dla masy z bentonitem „GEKO S”. Jak widać wytrzymałość masy bez dodatku amyłonu kształtuje się klasycznie, to znaczy że wraz ze wzrostem wilgotności masy wytrzymałość na ściskanie początkowo rośnie, osiąga maksimum (0,15 MPa dla wilgotności 2,3%), a następnie spada. Wprowadzenie do masy 3% amyłonu całkowicie zmienia tę charakterystykę. Na początku wytrzymałość rośnie (przyrost wytrzymałości jest wolniejszy, bardziej płaski), po czym osiąga wartość maksymalną (0,11 MPa dla wilgotności 2,6%). Dalsze zwiększanie wilgotności nie powoduje spadku wytrzymałości. Wytrzymałość utrzymuje się na stałym poziomie około 0,105 MPa dla zakresu wilgotności 2,8 ÷ 4,5%, a zatem dla całego zakresu praktycznie stosowanych wilgotności roboczych. Wytrzymałość masy po dodaniu 2 oraz 4% amyłonu jest niewiele mniejsza od wytrzymałości uzyskanej przy dodaniu do masy 3% amyłonu. Z tego wynika wniosek, że dla uzyskania najlepszej wytrzymałości na ściskanie należy stosować dodatek amyłonu w wymiarze 3 części wagowych.

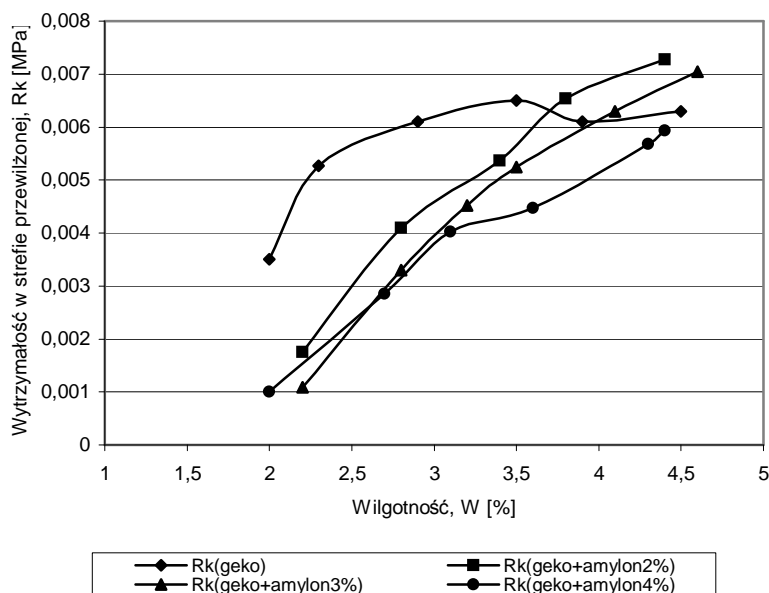


Rys. 3. Wpływ dodatku amyłonu na wytrzymałość na rozciąganie

Na rysunku 3 przedstawiono wpływ dodatku amyłonu na wytrzymałość na rozciąganie (R_m^w) dla masy z bentonitem „GEKO S”. Ten parametr po dodaniu amyłonu również ulega zmianie. Wytrzymałość na rozciąganie masy bez dodatku amyłonu kształtuje się podobnie jak wytrzymałość na ściskanie. Charakterystyka posiada widoczne maksimum (0,0269 MPa dla wilgotności 2,5%), po którym wartość wytrzymałości zaczyna spadać, by przy wilgotności 3,7% wytrzymałość na rozciąganie wynosiła 0,0154 MPa. Dwu procentowy dodatek amyłonu do masy powoduje zwiększenie wytrzymałości masy na rozciąganie już od wilgotności około 3% (dla 3,06% wilgotności $R_m^w = 0,0243$ MPa). Dalsze zwiększanie wilgotności nie wpływa znacząco na spadek wytrzymałości. A zatem dla praktycznie stosowanych wilgotności roboczych zastosowanie dodatku amyłonu zwiększa wytrzymałość na rozciąganie. Dodatki 3 i 4 % amyłonu powodują również wzrost wytrzymałości. Podsumowując można stwierdzić, że najlepsze działanie na wytrzymałość masy na rozciąganie w stanie wilgotnym ma dodatek amyłonu w ilości 2%.

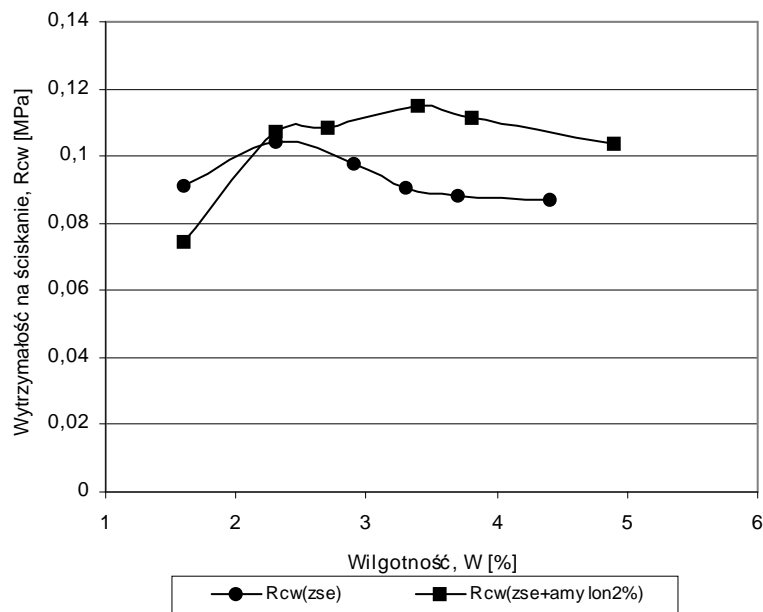
Na rysunku 4 przedstawiono wpływ dodatku amyłonu na wytrzymałość w strefie przewilżonej (R_k) dla masy z bentonitem „GEKO S”. Jak widać dodanie amyłonu do masy obniża wytrzymałość w strefie przewilżonej do wilgotności 3,7%. Powyżej tej wilgotności dodatek amyłonu niewiele zwiększa wytrzymałość. Im więcej dodajemy amyłonu, tym mniejsze uzyskujemy wytrzymałości. A zatem dodatek ten nie poprawia właściwości w tej bardzo ważnej części formy odlewniczej.

Dla porównania przeprowadzono dodatkowe badania wpływu dodatku amyłonu na właściwości masy z innym rodzajem bentonitu. Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono badania mas z bentonitem ZĘBIEC specjal ekstra. Jak widać uzyskano takie same charakterystyki przebiegów poszczególnych rodzajów wytrzymałości. Badania te potwierdzają zatem wnioski wysunięte z poprzednich prób.

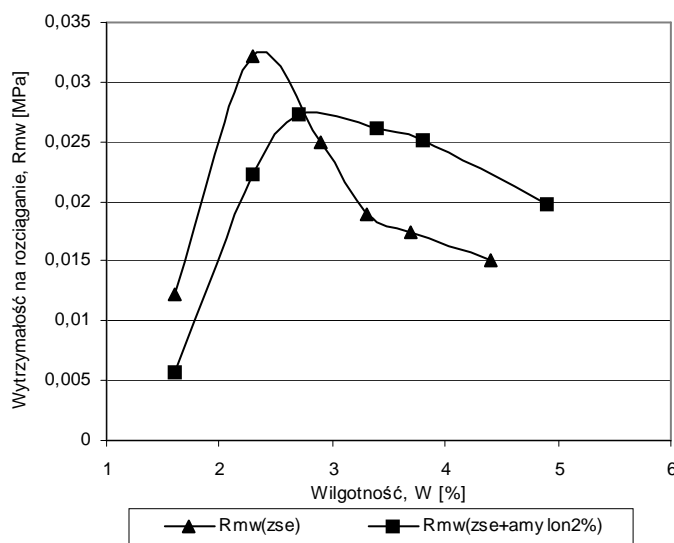


Rys. 4. Wpływ dodatku amyłonu na wytrzymałość w strefie przewilżonej

Przeprowadzono również pomiary wpływu amyłonu na inne właściwości technologiczne [7]. I tak dodanie amyłonu do masy obniża przepuszczalność masy. Z dodatkiem i wzrostem zawartości amyłonu w masie obniża się także jej zagęszczalność. Pogarsza się także płynność masy, ale dla praktycznie stosowanych wilgotności jest to wpływ nieznaczny.



Rys. 5. Wpływ amylonu na wytrzymałość na ściskanie masy z bentonitem ZĘBIEC specjal ekstra



Rys. 6. Wpływ amylonu na wytrzymałość na rozciąganie masy z bentonitem ZĘBIEC specjal ekstra.

4. Podsumowanie

Wysoka jakość produkowanych odlewów wymusza stosowanie mas formierskich i rdzeniowych o wysokich ale zarazem i stabilnych właściwościach technologicznych. Jest to szczególnie ważne zagadnienie w przypadku wilgotnych mas bentonitowych, w których wpływ wilgotności masy na jej podstawowe właściwości technologiczne jest bardzo złożony. Utrudnia on bowiem cały system sterowania i kontroli jakości masy. Stąd badania nad specjalnymi dodatkami stabilizującymi właściwości mas mają nie tylko duże

znaczenie poznawcze, ale także istotne aspekty użytkowe. Przedstawiony w artykule dodatek może stanowić istotny postęp w rozwiązaniu tego zagadnienia.

5. Literatura

- [1] Jelinek P.: Interakce voda-jil a vlastnosti bentonitovych smesi. Sbornik vedeckich prací. VSB Ostrava, r. XXVII, c. 1, s. 101-121.
- [2] Jelinek P.: Pojivove soustavy slevarenskych formovacich smesi, 2004,
- [3] Lewandowski J.L.: Tworzywa na formy odlewnicze. Wydawnictwo „Akapit”, Kraków 1997.
- [4] Smirnov i in.: Tran.Amer. Foundrymen’s Soc. Roc. 84th Annu. Meet. St. Luis, Miss. 88, 1980, s. 657-682,
- [5] Dobosz St.M.: Woda w masach formierskich i rdzeniowych, Wydawnictwo „Akapit”, Kraków 2006,
- [6] Dobosz St.M., Aslanowicz M.: Odlewnicze masy z bentonitami - jakość a wymagania. Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN-Katowice, nr 35, 1998, s. 81-91,
- [7] Dobosz St.M., Drożyński D.: The stabilization processes of the bentonite moulding sands properties. Archives of Mechanical Technology and Automation, Poznań 2003, Vol. 23 nr 1, s. 25 - 31

Badania finansowane przez MNiSzW, w ramach pracy statutowej nr 11.11.170.248