

OCENA PRACY MIESZARKI TURBINOWEJ W OPARCIU CHARAKTERYSTYKĘ PRĄDOWĄ NAPĘDÓW

Czesław RUDY¹
Aleksander FEDORYSZYN²
Justyna RUDY³

Wstęp

W przypadku zmechanizowanej i zautomatyzowanej produkcji odlewów stosuje się jednolitą masę formierską syntetyczną, odświeżaną po każdym obiegu technologicznym, świeżymi dodatkami piasku, bentonitu i pyłu węglowego lub mieszanki bentonitowej z nośnikiem węgla błyszczącego. Dążenie do utrzymywania minimalnej ilości masy w obiegu i konieczność skrócenia czasu do powtórnego jej użycia wymaga optymalnego przygotowania masy używanej (zwrotnej) oraz mieszania odświeżającego.

Mieszanie odświeżające prowadzi się obecnie stosując mieszarki wirnikowe ze względu na ich dużą wydajność oraz uzyskiwane, wymagane właściwości masy.

Proces mieszania wymaga kontroli i sterowania. Takie możliwości daje rejestracja mocy napędu. Moc napędu zespołu mieszającego w pełni charakteryzuje przebieg pracy mieszarki. Monitoring, poprzez ocenę zużycia energii, daje możliwość doboru optymalnych warunków pracy mieszarki i maksymalizacji efektów sporządzania masy.

Stwierdzono również, że rejestracja natężenia prądu pobieranego przez napęd wirnika, z wystarczającą precyzją, odzwierciedla przebieg procesu. Na podstawie tych przebiegów można scharakteryzować cykl oraz określić moment zakończenia mieszania. Wskazania przebiegu natężenia prądu reaguje również na zmiany parametrów procesu oraz rozwiązywania zespołu wirnika.

1. Charakterystyka mieszarek produkcji krajowej Moc napędu

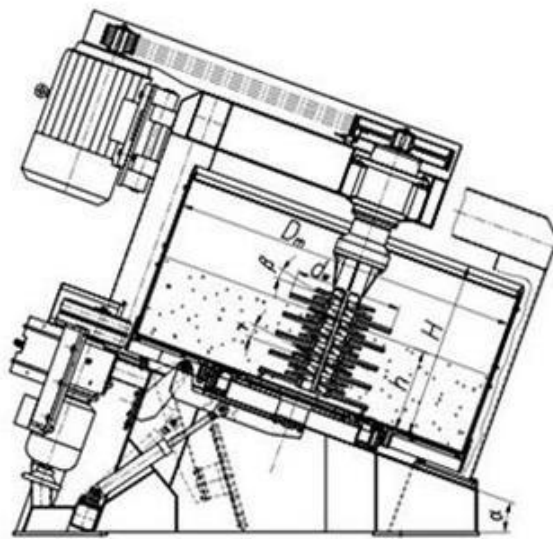
Oferowane mieszarki wirnikowe, produkcji PPP Technical, charakteryzują się misą ruchomą, obrotową z napędem ciernym lub zębatym (rys. 1, 2). Wskaźniki konstrukcyjno-eksploatacyjne mieszarek wirnikowych to: smukłość misy wynosząca, dla mieszarek produkcji krajowej, $H/Dm = 0,40 \div 0,66$, wskaźnik mocy zainstalowanej w stosunku do wydajności $N/W = 2,31 \div 4,07$ oraz wysokość wypełnienia misy masą w stosunku do średnicy misy $h/Dm = 0,15 \div 0,32$ [3,8]. Produkowane obecnie mieszarki wirnikowe charakteryzują się szerokim zakresem wydajności, którą określa masa załadunku oraz czas cyklu mieszania (rys.3).

Badania porównawcze, prowadzone przy użyciu laboratoryjnej mieszarki krążnikowej oraz wirnikowej [1,4], wykazały korzystny poziom właściwości masy formierskiej (rys.4 i 5). Zwraca uwagę przede wszystkim wysokie wartości przepuszczalności masy. Jest to szczególnie istotne przy realizacji współczesnych technik zagęszczania, takich jak: impulsowe i strumieniowe.

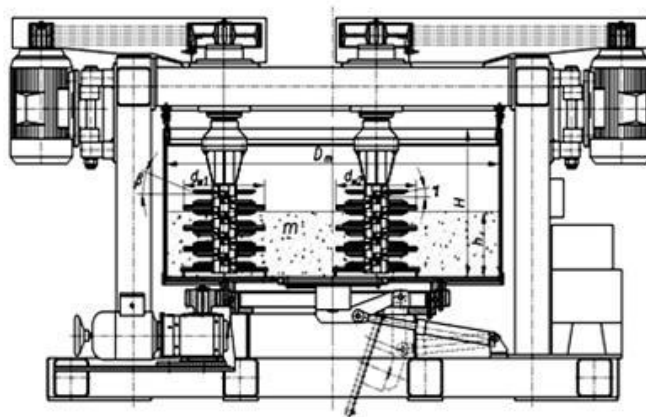
¹ dr inż., Prezes P.P.P. TECHNICAL Nowa Sól, cz.rudy@technical.com.pl

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

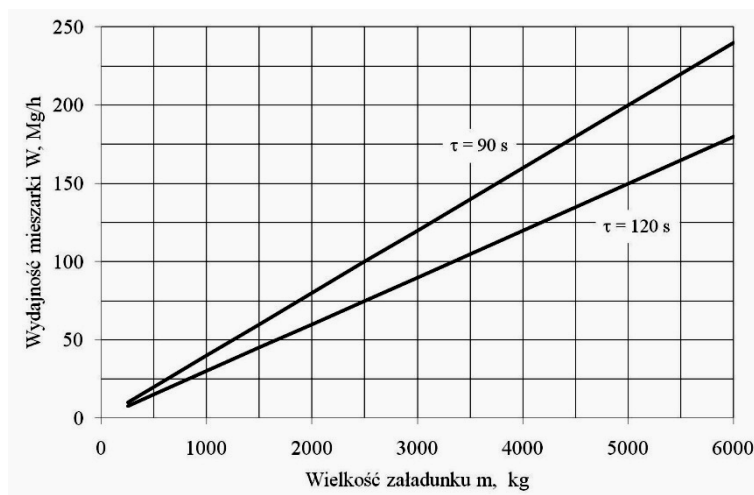
³ mgr inż., P.P.P. TECHNICAL Nowa Sól, j.rudy@technical.com.pl



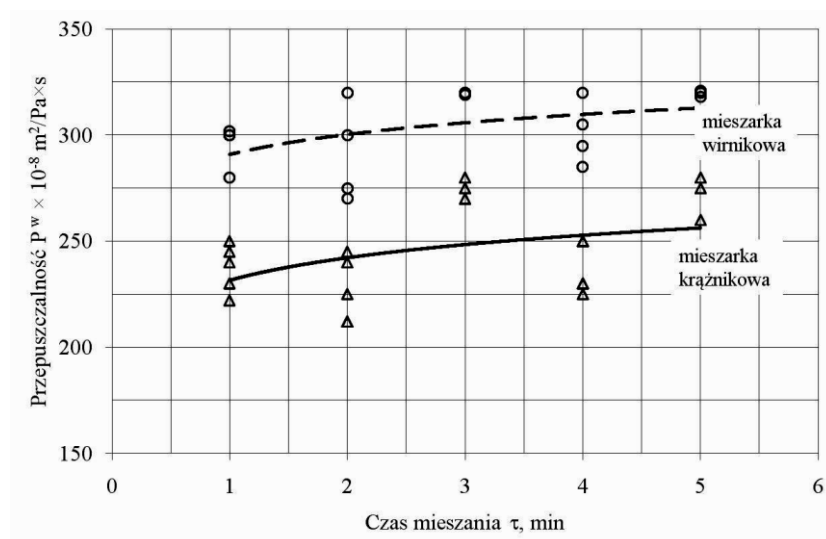
Rys.1. Schemat mieszarki wirnikowej z ruchomą, pochyloną misą, typu MTP [3,8]: D_m – średnica misy, H - wysokość misy, h – wysokość zasobu masy, α - kąt pochylecia dna misy, β - kąt pochylecia łopatek wirnika, γ - pochylecie linii śrubowej rozmieszczenia łopatek



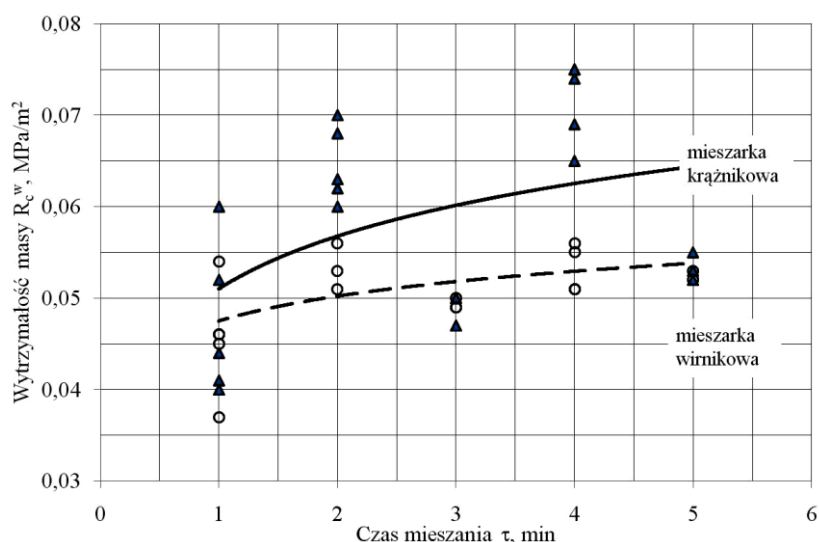
Rys.2. Schemat mieszarki wirnikowej z ruchomą, poziomą misą, typu MTI [3,8]: m – masa porcji masy



Rys.3. Wydajność mieszarek wirnikowych produkcji krajowej [1,8]



Rys. 4. Wartości przepuszczalności masy odświeżanej przy użyciu laboratoryjnej mieszarki krążnikowej i wirnikowej; masa załadunku $m = 4 \text{ kg}$ [1]



Rys. 5. Wartości wytrzymałości masy odświeżanej przy użyciu laboratoryjnej mieszarki krążnikowej i wirnikowej; masa załadunku $m = 4 \text{ kg}$ [1]

2. Moc napędu mieszarek

Moc napędu mieszarek wirnikowych wynika z oporów ruchu misy, zespołu wirnika (zespołu mieszadła) oraz oporów tarcia. Podobnie moc napędu mieszarek krążnikowych, z poziomymi i pionowymi krążnikami, związana jest z oporami ruchu krążników N_k , lemieszy N_l oraz oporów tarcia N_t [2,5,6]:

$$N = N_k + N_l + N_t$$

gdzie:

- N_k - moc oporów ruchu krążników; kW,
- N_l - moc oporów lemieszy; kW,
- N_t - moc oporów tarcia; kW.

Składowe mocy całkowitej zależą od ilości obrabianej masy: $N_k = k_k \times m$, $N_l = k_l \times m$. Moc zużywana na pokonanie oporów tarcia masy o elementy zespołu mieszania, oporów w mechanizmach napędu zapisuje się w postaci:

$$Nt = N_o + kt \times m. \quad (2)$$

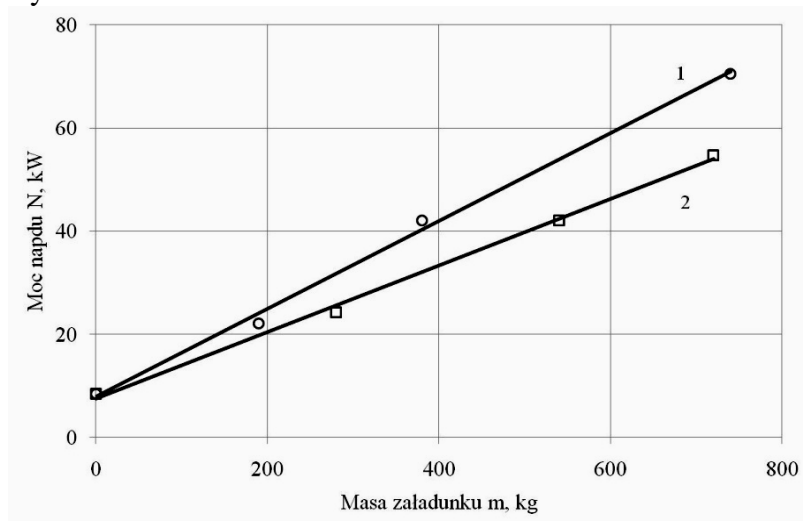
Jedynie moc biegu jałowego nie zależy od obciążenia mieszarki.

Moc napędu mieszarek, niezależnie od typu, może więc być przedstawiona w uogólnionej liniowej postaci:

$$N = N_o + kc \times m, \quad (3)$$

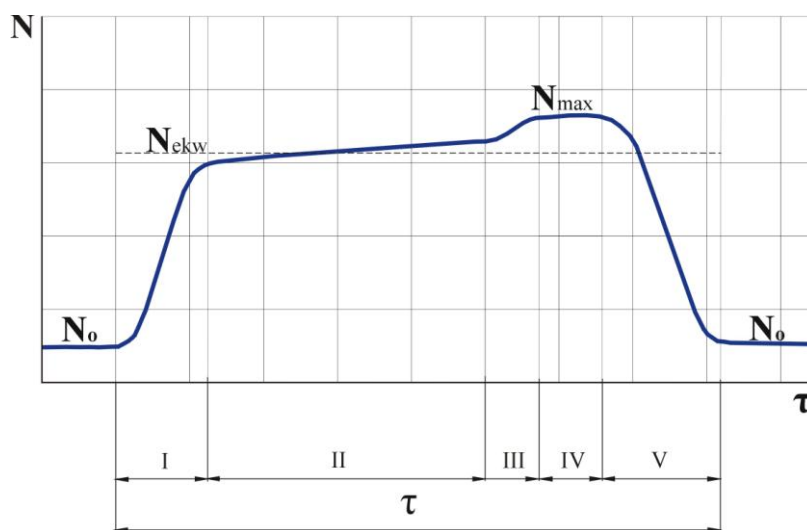
gdzie kc oznacza współczynnik proporcjonalności.

Przykładowe dane dotyczące mieszarki krążnikowej o jednorazowym załadunku 500 kg oraz zainstalowanej mocy $N_c = 75$ kW ($N_o = 8$ kW, $N_k = 9,5$ kW oraz $N_l = 52$ kW) przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Zależność mocy N od załadunku mieszarki masą o wytrzymałości R_c^w :
1- $0,35 \div 0,45$ daN/cm², 2- $0,2 \div 0,3$ daN/cm² [6]

Przebieg zmian poboru mocy przez silnik napędzający zespół mieszania mieszarki charakteryzuje przebieg procesu sporządzania [2,6,7]. Stan końcowy sporządzania masy jest sygnalizowany wartością maksymalną mocy (rys.7).



Rys. 7. Przebieg zmian poboru mocy zespołu napędu układu mieszającego mieszarki krążnikowej [6]: I - załadunek składników, II - ujednorodnienie mieszaniny, III - dozowanie wody, IV - mieszanie nawilżonej masy, V - opróżnianie mieszarki

Analizując dane stwierdza się, że w czasie pracy mieszarki wartość mocy napędu ciągle wzrasta, dochodząc do wartości maksymalnej w momencie uzyskania masy gotowej do użycia, czyli po osiągnięciu założonego jej stanu i właściwości.

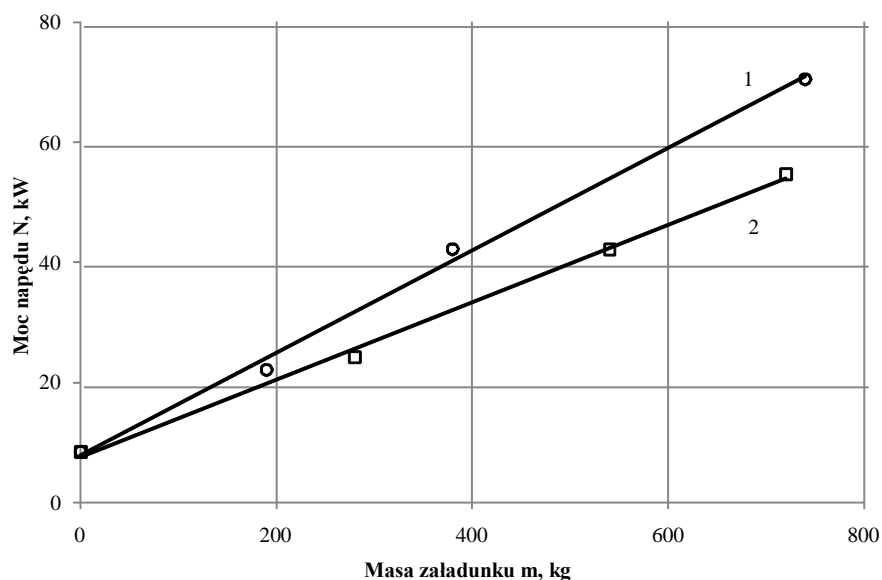
Podobnie przebieg zmian prądu pobieranego przez silnik wirnika charakteryzuje proces [1,3].

Wiążąc moc napędu N z wydajnością masową W , wyznacza się współczynnik proporcjonalności $L_{wł}$ (kJ/kg) oznaczając niezbędną pracę wymaganą przy przygotowaniu, odświeżaniu jednostkowej ilości masy [1,3]:

$$L_{wł} = 3,6 \times N/W \quad (4)$$

Analiza danych katalogowych wskazuje, że zakłada się wartości tego wskaźnika w zakresie 7÷12 kJ/kg (mieszarki MTI i MTP [1,3]). Wartości pracy właściwej w przypadku mieszarki wirnikowej z regulowanymi obrotami wirnika typu RTM (ROTOMAX) wynoszą nawet poniżej 4 kJ/kg.

Przykładowy związek mocy napędu z wydajnością przedstawiono na rysunku 8. Dane dotyczą mieszarki krążnikowej o jednorazowym załadunku 500 kg oraz zainstalowanej mocy $N_c = 75$ kW ($N_o = 8$ kW, $N_k = 9,5$ kW oraz $N_l = 52$ kW).

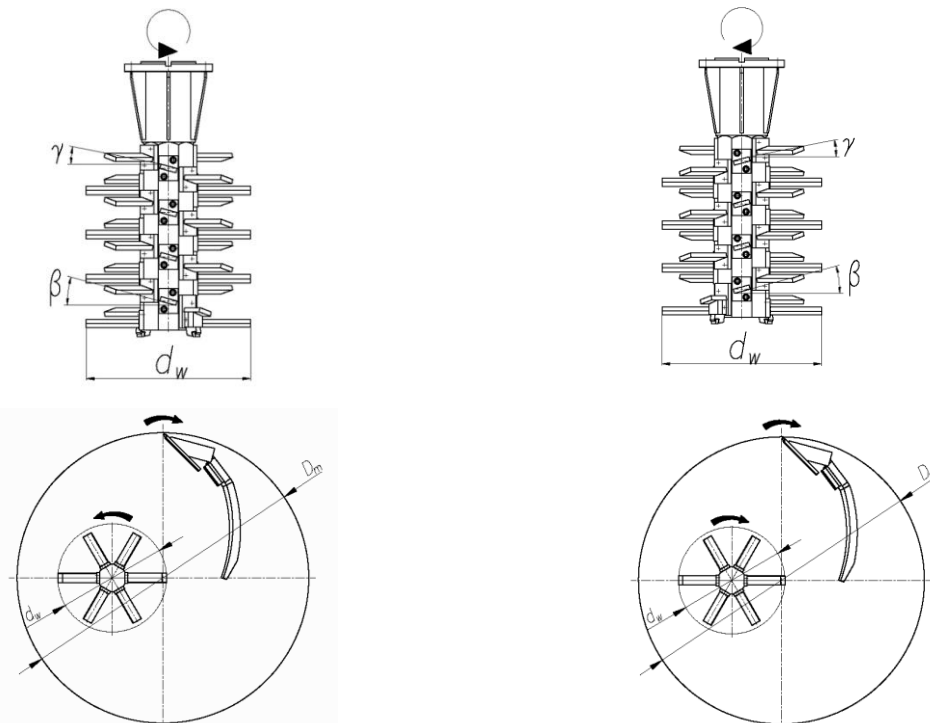


Rys. 8. Zależność mocy N od ładunku mieszarki masą o wytrzymałości R_c^w :
1- $0,35 \div 0,45$ daN/cm², 2- $0,2 \div 0,3$ daN/cm² [6]

3. Badania i analiza procesu mieszania na podstawie zmian obciążeń zespołów napędowego

Rejestracja zmian poboru prądu zespołu napędowego mieszarki pozwalają na prowadzenie badań optymalizujących rozwiązania zespołu wirnika. W ramach tych badań przeprowadzono optymalizację ukształtowania łopatek wirnika, doboru prędkości misy i zespołu mieszającego itp. Jedną z serii badań były próby prowadzone w Odlewni HEYE Pieńsk, gdzie jest eksploatowana mieszarka MTP - 500. Przeprowadzono łącznie 40 prób, z czego 32 dotyczyły analizy efektów pracy mieszarki MTP - 500 przy zmiennych warunkach jej pracy (rys. 9). Pozostałe próby przeprowadzono na stanowisku badawczym w Odlewni ZLH Hronec Słowacja, wyposażonym w mieszarkę wirnikową MTP-3000. Wyniki badań dotyczyły właściwości technologicznych masy formierskiej

oraz jej wilgotności. Przebieg procesu oceniano na podstawie poboru prądu zespołów mieszających mieszarek wirnikowych



Rys.9. Schematy zespołów mieszarek wirnikowych typu MTP-500; układ mieszający przeciwbieżny, wirnik lewoskrętny (L) oraz układ mieszający współbieżny, wirnik prawoskrętny (P)

Badania prowadzono w celu sprawdzenia jaki wpływ na podstawowe właściwości technologiczne masy formierskiej używanej mają:

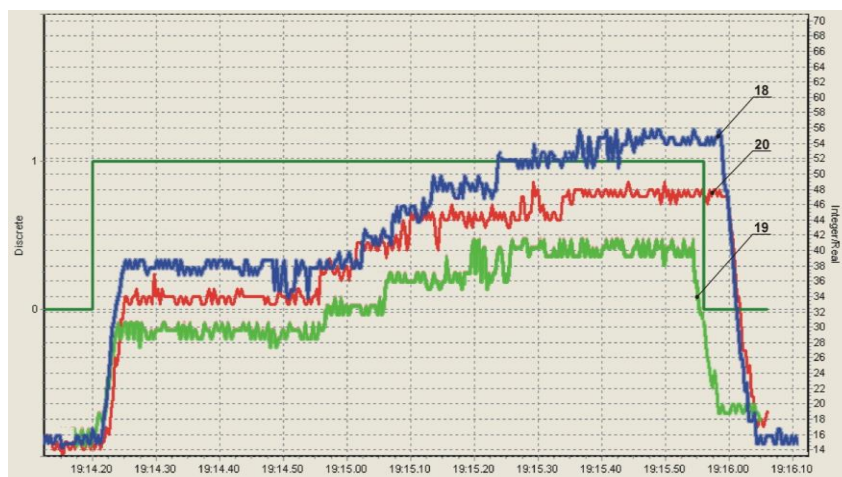
- kąt pochylenia łopatek wirnika,
- prędkość obrotowa wirnika,
- kierunek obrotów wirnika,
- czas mieszania.

Badania miały również na celu określenie optymalnego czasu mieszania na podstawie poboru prądu zespołów mieszających mieszarek wirnikowych oraz wilgotności masy.

3.1. Badania i analiza procesu mieszania na podstawie zmian poboru prądu zespołu mieszającego mieszarki wirnikowej MTP-500 dla różnych prędkości obrotowych wirnika i stałej prędkości obrotowej misy

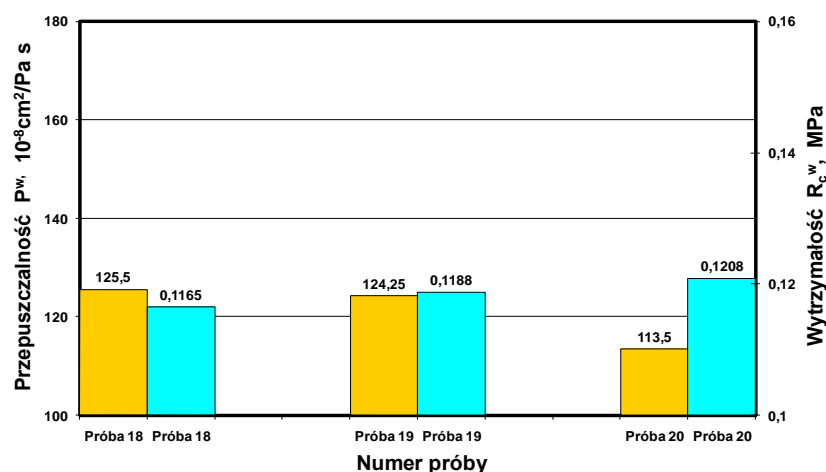
Badania przeprowadzono w Odlewni HEYE Pieńsk dla trzech różnych prędkości obrotowych wirnika: $n_w = 475$ 1/min, 528 1/min, 634 1/min oraz różnych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych mieszarki wirnikowej MTP-500.

Przykładowy wykres przebiegu zmian poboru prądu silnika zespołu mieszającego mieszarki wirnikowej MTP-500 dla różnych prędkości obrotowych wirnika i stałej prędkości obrotowej misy przedstawia rysunku 10.



Rys.10. Przebieg zmian poboru prądu napędu układu mieszającego mieszarki wirnikowej MTP-500 dla prędkości obrotowych wirnika; 18- $n_w = 475$ 1/min, 19- $n_w = 528$ 1/min, 20- $n_w = 634$ 1/min

Z pomiarami natężenia prądu układu napędowego wirnika prowadzono również standardowe badania właściwości technologicznych masy. Wyniki tych badań zamieszczono na rysunku 11.



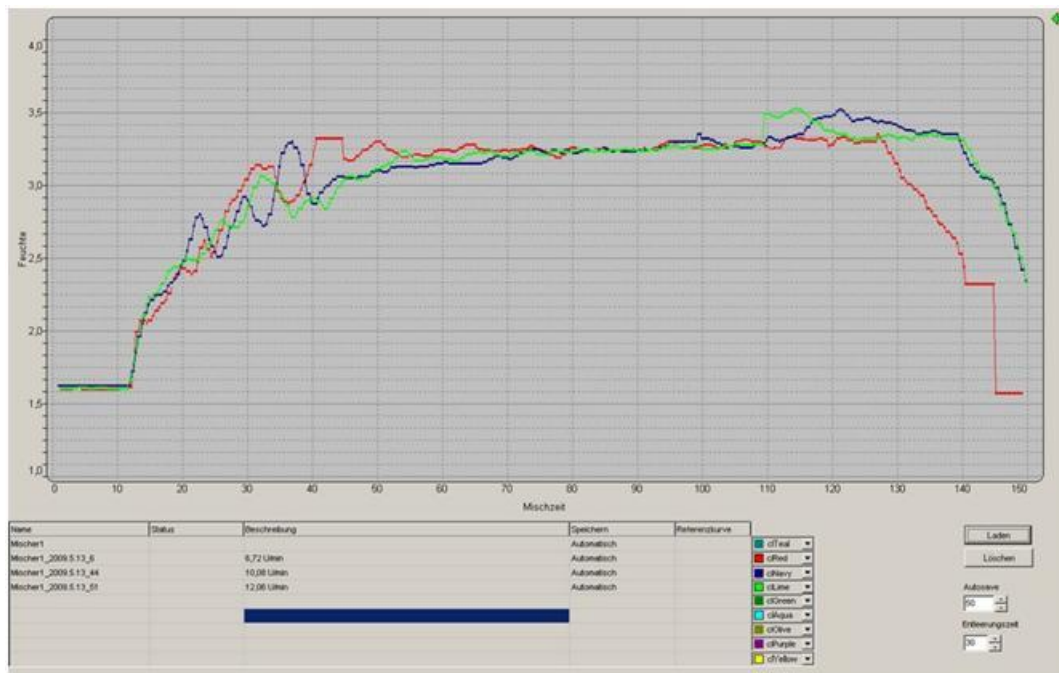
Rys.11. Wartości właściwości technologicznych masy odświeżanej w mieszarce wirnikowej MTP-500 dla różnych prędkości obrotowych wirnika; 18- $n_w = 475$ 1/min, 19- $n_w = 528$ 1/min, 20- $n_w = 634$ 1/min

Wartość średnia zagęszczenia masy formierskiej wynosiła odpowiednio: $Z = 49,8$ % (18), $Z = 50,0$ % (19) i $Z = 50,2$ % (20).

Na podstawie przeprowadzonych badań poboru prądu przez silnik napędu wirnika stwierdzono:

- maksymalny pobór prądu przez silnik napędu wirnika badanej mieszarki MTP-500 wynosił odpowiednio; dla $n_w = 528$ 1/min – $I_{\max} = 43,2$ A, dla $n_w = 634$ 1/min – $I_{\max} = 49,2$ A, natomiast dla $n_w = 475$ 1/min – $I_{\max} = 58$ A,
- zmiany poboru prądu przez silnik napędu wirnika mieszarki MTP-500 (rys.4) dla badanych prędkości wskazują na podobny przebieg procesu mieszania,
- zmiany poboru prądu przez silnik napędu wirnika dla każdej z badanych prędkości obrotowych wirnika odzwierciedlają zmiany wilgotności masy w czasie procesu mieszania.

Podsumowując przeprowadzone badania poboru prądu przez silnik wirnika mieszarki



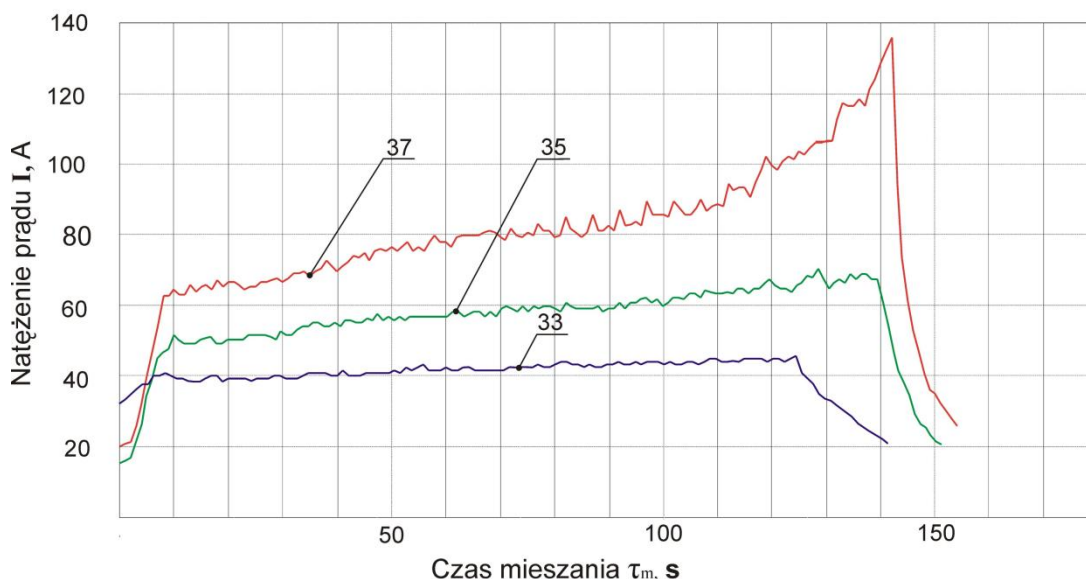
Rys.6. Przebieg zmian wilgotności masy w mieszarce wirnikowej MTP-3000 dla różnych prędkości obrotowych misy dla badania 33, 35, 37 ($n_m = 6,72$ 1/min, $n_m = 10,08$ 1/min, $n_m = 12,06$ 1/min)

MTP-500 można stwierdzić, że największy pobór prądu był dla prędkości $n_w = 475$ 1/min co wskazuje na najbardziej efektywny proces mieszania (rys.4). Najlepsze właściwości masy uzyskano dla prędkości obrotowej; $n_w < 528$ 1/min (rys.10).

3.2. Badania i analiza procesu mieszania na podstawie zmian poboru prądu zespołu mieszającego mieszarki wirnikowej MTP-3000 dla różnych prędkości obrotowych misy i stałej prędkości obrotowej wirnika

Badania przeprowadzono w Odlewni ZLH Hronec Słowacja dla różnych prędkości obrotowych misy: $n_m = 6,72$ 1/min, $8,73$ 1/min, $10,08$ 1/min, $11,15$ 1/min, $12,06$ 1/min oraz różnych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych mieszarki wirnikowej MTP-3000.

Przykładowy wykres przebiegu zmian wilgotności masy formierskiej dla wybranych badań przedstawiono na rysunku 6, natomiast przykładowy wykres przebiegu zmian poboru prądu silnika zespołu mieszającego mieszarki wirnikowej MTP-3000 dla różnych prędkości obrotowych misy i stałej prędkości obrotowej wirnika przedstawia rysunku 7.



Rys.7. Przebieg zmian poboru prądu napędu układu mieszającego mieszarki wirnikowej MTP-3000 dla różnych prędkości obrotowych miski dla badania 33, 35, 37 ($n_m = 6,72$ 1/min, $n_m = 10,08$ 1/min, $n_m = 12,06$ 1/min)

Z pomiarami natężenia prądu układu napędowego miski mieszarki wirnikowej MTP-3000 prowadzono również standardowe badania właściwości technologicznych masy. Wyniki tych badań zamieszczono na rysunku 8.



Rys.8. Wartości właściwości technologicznych masy odświeżanej w mieszarce wirnikowej MTP-3000 dla różnych prędkości obrotowych miski dla badań: 33, 35, 37 ($n_m = 6,72$ 1/min, $n_m = 10,08$ 1/min, $n_m = 12,06$ 1/min)

Wartość średnia zagęszczalności masy formierskiej wynosiła odpowiednio: $Z = 46,8$ % (33), $Z = 50,6$ % (35) i $Z = 50,0$ (37).

Na podstawie przeprowadzonych badań poboru prądu przez silnik napędu miski stwierdzono:

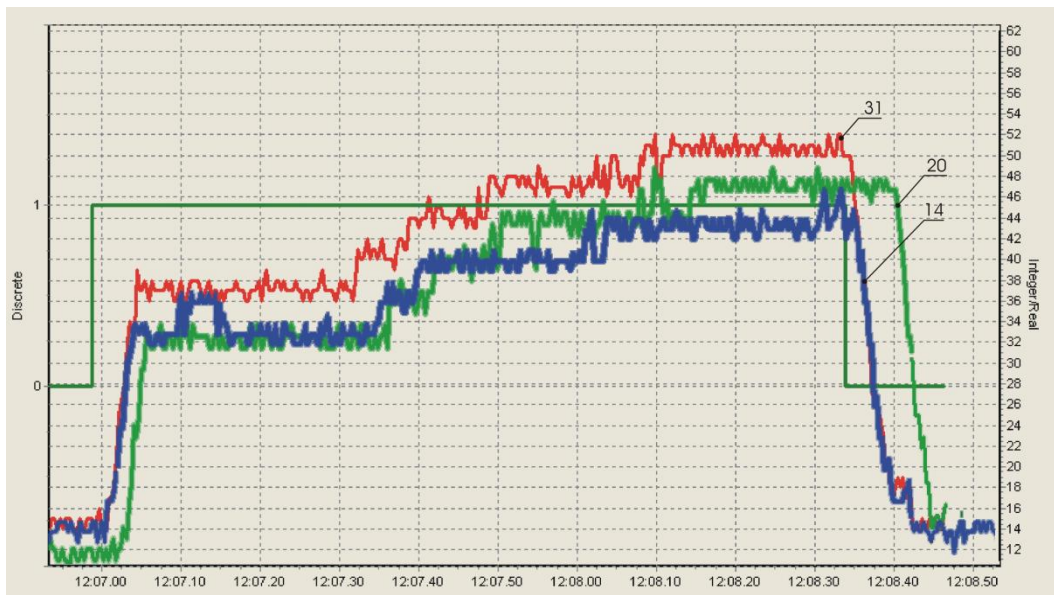
- maksymalny pobór prądu przez silnik napędu miski badanej mieszarki MTP-3000 wynosił odpowiednio; dla $n_m = 6,72$ 1/min – $I_{\max} = 46,5$ A, dla $n_m = 10,08$ 1/min $I_{\max} = 69,0$ A, natomiast dla $n_m = 12,06$ 1/min – $I_{\max} = 137,0$ A,

- zmiany poboru prądu silnika napędu misy mieszarki MTP-3000 (rys.7) dla badanych prędkości mają podobny przebieg na początku procesu mieszania, następnie prądy dla wszystkich badanych prędkości gwałtownie wzrastają,
- zmiany poboru prądu przez silnik napędu misy dla każdej z badanych prędkości obrotowych misy odzwierciedlają zmiany wilgotności masy w czasie procesu mieszania,
- zmiany wilgotności masy wewnątrz mieszarki MTP-3000 (rys.6) w czasie procesu mieszania dla wszystkich badanych prędkości obrotowych misy miały jednakowy przebieg.
- Podsumowując przeprowadzone badania poboru prądu przez silnik misy mieszarki MTP-3000 można stwierdzić, najlepsze właściwości masy uzyskano dla prędkości obrotowej; $n_w = 12$ 1/min (rys.8).

3.3. Badania i analiza procesu mieszania na podstawie zmian poboru prądu zespołów mieszających mieszarki wirnikowej MTP-500 dla różnych kątów pochylenia łopatek wirnika

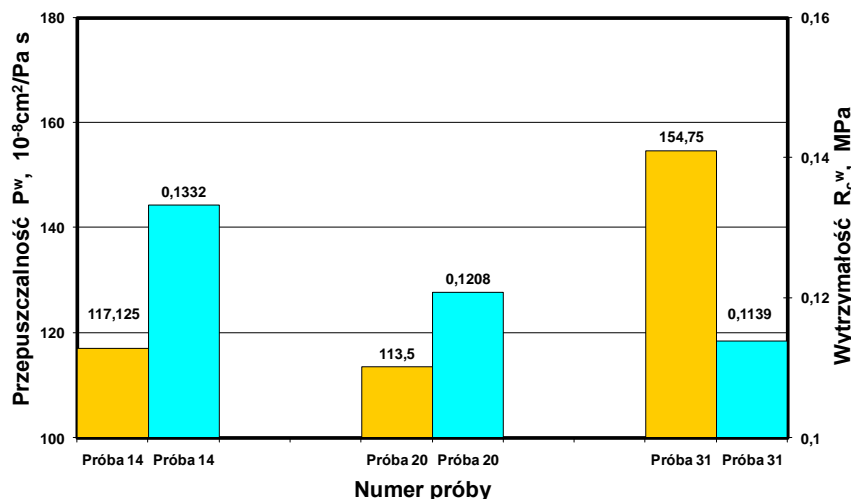
Badania przeprowadzono w Odlewni HEYE Pieńsk dla trzech różnych kątów pochylenia łopatek wirnika: $\beta = 10^\circ$, 15° , 30° oraz różnych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych mieszarki wirnikowej MTP-500.

Przykładowy wykres przebiegu zmian poboru prądu silnika zespołu mieszającego mieszarki wirnikowej MTP-500 dla różnych kątów pochylenia łopatek wirnika przedstawia rysunek 9.



Rys.9. Przebieg zmian poboru prądu napędu układu mieszającego mieszarki wirnikowej MTP-500 dla różnych kątów pochylenia łopatek wirnika;
14- $\beta = 10^\circ$, 20- $\beta = 15^\circ$, 31- $\beta = 30^\circ$

Z pomiarami natężenia prądu układu napędowego prowadzono również standardowe badania właściwości technologicznych masy. Wyniki tych badań zamieszczono na rysunku 10.



Rys.10. Wartości właściwości technologicznych masy odświeżanej w mieszarce wirnikowej MTP-500 dla różnych kątów pochylenia łopatek wirnika;
14- $\beta = 10^\circ$, 20- $\beta = 15^\circ$, 31- $\beta = 30^\circ$

Wartość średnia zagęszczalności masy formierskiej wynosiła odpowiednio: $Z = 49,9$ % (14), $Z = 50,0$ % (20) i $Z = 54,0$ (31).

Na podstawie przeprowadzonych badań poboru prądu przez silnik napędu wirnika stwierdzono:

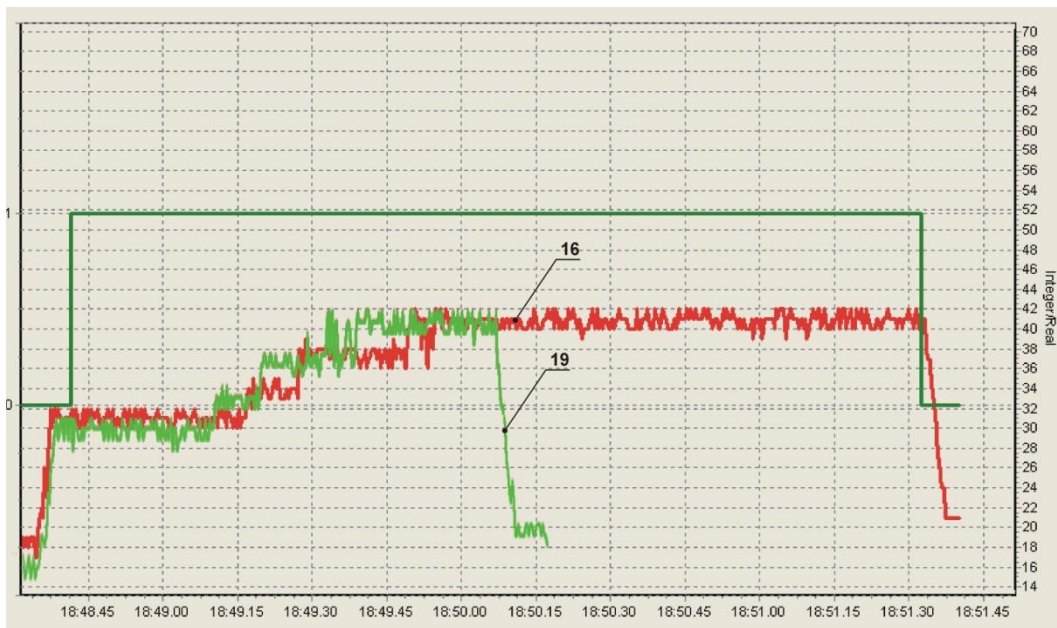
- maksymalny pobór prądu przez silnik napędu wirnika badanej mieszarki MTP-500 wynosił odpowiednio; dla $\beta = 30^\circ - I_{max} = 47,5$ A, dla $\beta = 15^\circ - I_{max} = 49,2$ A, natomiast dla $\beta = 10^\circ - I_{max} = 52,0$ A,
- zmiany poboru prądu przez silnik napędu wirnika mieszarki MTP-500 (rys.9) dla badanych kątów miał podobny przebieg zmian,
- zmiany poboru prądu przez silnik napędu wirnika dla każdej z badanych prędkości obrotowych wirnika odzwierciedlają zmiany wilgotności masy wewnątrz mieszarki w czasie procesu mieszania.

Podsumowując przeprowadzone badania poboru prądu przez silnik misy mieszarki MTP-500 stwierdzono, najlepsze właściwości masy uzyskano dla kątów pochylenia łopatek wirnika; $\beta = 10^\circ$ i $\beta = 15^\circ$ (rys.10).

3.4. Badania i analiza procesu mieszania na podstawie zmian poboru prądu zespołów mieszających mieszarki wirnikowej MTP-500 dla różnych czasów mieszania

Badania przeprowadzono w Odlewni HEYE Pieńsk wyposażonej w mieszarkę wirnikową MTP-500 dla dwóch różnych czasów mieszania: $\tau_m = 90$ s, 170 s.

Przykładowy wykres przebiegu zmian poboru prądu silnika zespołu mieszającego mieszarki wirnikowej MTP-500 dla różnych czasów mieszania przedstawia rysunku 11.



Rys.11. Przebieg zmian poboru prądu napędu układu mieszającego mieszarki wirnikowej MTP-500 dla różnych czasów mieszania; **16**- $\tau_m = 170$ s, **19**- $\tau_m = 90$ s

Razem z pomiarami natężenia prądu układu napędowego przeprowadzono również standardowe badania właściwości technologicznych masy. Wyniki tych badań zamieszczono na rysunku 12.



Rys.12. Wartości właściwości technologicznych masy odświeżanej w mieszarce wirnikowej MTP-500 dla różnych czasów mieszania; **16**- $\tau_m = 170$ s, **19**- $\tau_m = 90$ s

Wartość średnia zagęszczalności masy formierskiej wynosiła odpowiednio: $Z = 53,0$ % (**16**) i $Z = 50,0$ % (**19**).

Na podstawie przeprowadzonych badań poboru prądu przez silnik napędu wirnika stwierdzono:

- maksymalny pobór prądu przez silnik napędu wirnika badanej mieszarki MTP-500 wynosił odpowiednio; dla $\tau_m = 170$ s – $I_{max} = 43,6$ A i dla $\tau_m = 90$ s – $I_{max} = 43,2$ A,
- zmiany poboru prądu przez silnik napędu wirnika mieszarki MTP-500 (rys.11) dla badanych czasów mieszania miał podobny przebieg,
- zmiany poboru prądu przez silnik napędu wirnika dla każdego z badanych czasów mieszania odzwierciedlają zmiany wilgotności masy wewnątrz mieszarki w czasie procesu mieszania.

Podsumowując przeprowadzone badania poboru prądu przez silnik misy mieszarki MTP-500 można stwierdzić, że wraz z wydłużeniem czasu mieszania uzyskano poprawę badanych właściwości masy (rys.12).

Podsumowanie

Charakter pracy mieszarek wirnikowych rekomenduje je do stosowania przy przerobie masy obiegowej. Masa obiegowa poddana mieszaniu odświeżającemu uzyskuje pożądaną poziom właściwości technologicznych. Zwraca uwagę przede wszystkim jej wysoka przepuszczalność. Masa uzyskuje wysoki stopień spulchnienia, co jest istotnym czynnikiem przy realizacji współczesnych technik zagęszczenia masy.

Stwierdzono, że przebieg i rezultaty procesów sporządzania i odświeżania masy z bentonitem w głównej mierze zależą od:

- położenia misy i jej prędkości obrotowej,
- ukształtowania zespołów wirnika, mieszadeł i lemieszów,
- prędkości obrotowej zespołu wirnika,
- ukształtowania łopatek, ich ilości, rozmieszczenia i pochyleń,
- czasu mieszania,
- kolejności podawania składników i przebiegu procesu mieszania.

Pobór prądu zespołów mieszających w pełni charakteryzuje przebieg pracy mieszarki. Monitoring, poprzez ocenę poboru prądu, daje możliwość doboru optymalnych warunków pracy mieszarki i maksymalizacji efektów sporządzania masy.

Parametrem w pełni charakteryzującym zużycie energii elektrycznej przez napęd jest natężenie prądu. Zmiany wartości natężenia prądu ilustrują przebieg procesu sporządzania masy. Rejestracja natężenia prądu pozwoliła oceniać przebieg procesu sporządzania masy przy optymalizacji rozwiązań zespołów mieszających. Możliwość taką potwierdziła przedstawiona ocena pracy wirników o zróżnicowanej konstrukcji łopatek mieszających.

Literatura

- [1] Fedoryszyn A., Rudy Cz.: Parameters and Processes of Synthetic Sand Rebonding in Turbine Mixers. Zjawiska i parametry procesu odświeżania syntetycznej masy formierskiej w mieszarkach wirnikowych. Archives of Metallurgy and Materials. Polish Academy of Sciences. Committee of Metallurgy Institute of Metallurgy and Materials Sciences, vol.53, nr3, 2007, s.415
- [2] Gorskij A.I.: Rasczet maszin i mechanizmov awtomaticheskichlinij litejnogo proizvodstva. Maszinstrojenje. Moskwa, 1978
- [3] Rudy Cz.: Praca doktorska: Analiza procesów zachodzących w mieszarkach wirnikowych. AGH Kraków 2009
- [4] Rudy J.: Charakterystyka procesu sporządzania i odświeżania syntetycznej masy z bentonitem. Praca dyplomowa, magisterska, Promotor: Fedoryszyn A., Konsultant: Rudy Cz., Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków, 2008
- [5] Sztefko F.: Analiza mocy napędów krążników w mieszarce typu SIMPSON. Zeszyty Naukowe AGH nr 1271, Metalurgia i Odlewnictwo, z.125, Kraków, 1989
- [6] Zajgerow J.B.: Maszyny i awtomatizacja litiejnowo proizvodstva. Wydawnictwo Wyższaja Szkola. Mińsk, 1969
- [7] Ziółkowski E., Wrona R., Smyksy K.: Wyznaczanie parametrów energetycznych na podstawie pomiarów wartości chwilowych w trójfazowych układach zasilania urządzeń odlewniczych. Materiały XXXII Konferencji Naukowej „Nowoczesne Technologie w Odlewnictwie”, Wydział Odlewnictwa AGH. Kraków 2008, s. 45
- [8] Katalogi oraz strona internetowa firmy TECHNICAL Nowa Sól, Polska: <http://www.technical.com.pl/>

EFEKTY OBRÓBKI POWIERZCHNIOWEJ STRUMIENIEM ŚRUTU

Aleksander FEDORYSZYN¹

Tadeusz PIOSIK²

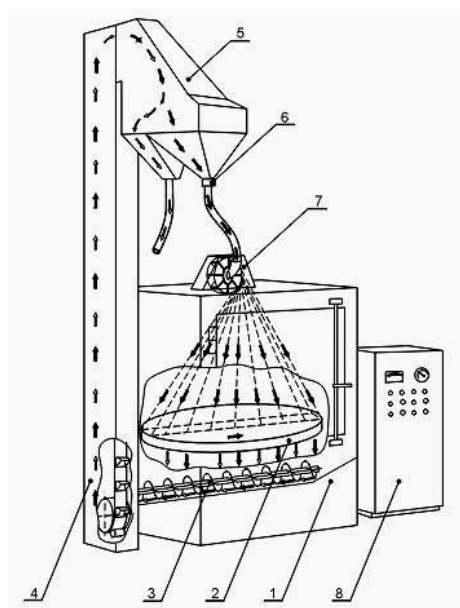
Stanisław RZADKOSZ³

Leopold STASZCZAK⁴

Piotr ZYZAK⁵

Wprowadzenie

Analiza rozwiązań wyposażenia oczyszczalni, oferowanego aktualnie jak i prognozowane, wskazuje, że w dalszym ciągu oczyszczanie i wykańczanie powierzchni odlewów będzie realizowane nadal i przede wszystkim, metodami obróbki mechanicznej, przy użyciu oczyszczarek (rys.1), w których strumień śrutu jest wyrzucany przez wirniki (rys. 2).



Rys.1. Schemat oczyszczarki wirnikowej, stołowej [7,9]:

1 – obudowa, 2 – stół roboczy, 3 – podajnik śrubowy,
4 - podajnik kubelkowy, 5 – komora separacyjna, 6 – dozownik śrutu, 7 – koło rzutowe, 8 – szafa sterownicza

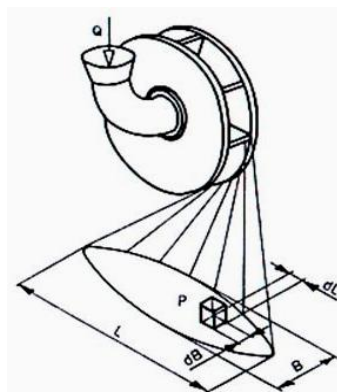
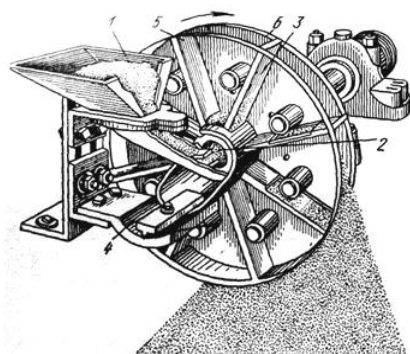
¹ dr hab. inż. prof. nadzw., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie ; alfa @agh.edu.pl

² inż., P.P.P TECHNICAL, 67-100 NOWA SÓL, ul. Zielonogórska 1A; t.piosik@technical.pl

³ prof. dr hab. inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, rzadkosz@uci.agh.edu.pl

⁴ dr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, staszcz@uci.agh.edu.pl

⁵ mgr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, przyzak@agh.edu.pl



Rys. 2. Wirnik rzutowy i pole oddziaływania strumienia śrutu [5,6]: 1 - zbiornik śrutu, 2 – tuleja rozdzielająca, 3,5 – łopatką rzutową, 4 – zespół mocowania, 6 – tarcza koła rzutowego

Obróbka strumieniem śrutu należy również do metod wytwarzania warstw powierzchniowych. Obróbka ta określana jest nazwą procesu kulowania (kulkowania) [2]. Proces kulowania (shot peening) to dynamiczna, powierzchniowa obróbka plastyczna metali na zimno powodująca zmianę stanu warstwy wierzchniej. W wyniku zgniotu warstwy wierzchniej pojawia się umocnienie metalu i szereg zmian fizykochemicznych.

Różnice w omawianych procesach polegają na tym, że oczyszczaniu podlegają surowe odlewy, otrzymywane z form piaskowych jak i form metalowych. Kulowaniu natomiast poddaje się wyroby z tworzyw metalowych, w tym odlewy po obróbce mechanicznej np. szlifowaniu oraz obróbce cieplno-chemicznej np. nawęglaniu.

Zasadniczym celem oczyszczania odlewów jest oddzielenie zanieczyszczeń powierzchni oraz jej przygotowanie do eksploatacji lub innych operacji wykańczania (malowanie, emaliowanie, obróbka mechaniczna itp.)

Zasadniczym celem stosowania kulowania jest zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej, objętościowej i powierzchniowej części maszyn, zwłaszcza narażonych na obciążenia zmienne.

Zestawienie metod wytwarzania warstw powierzchniowych (wierzchnich) przedstawiono na rysunku 3.

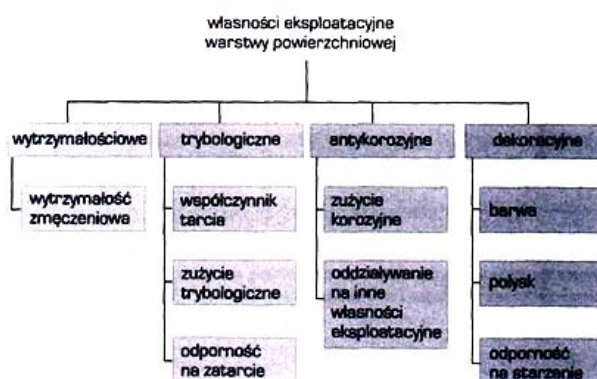


Rys.3. Klasyfikacja metod wytwarzania warstw wierzchnich [2]

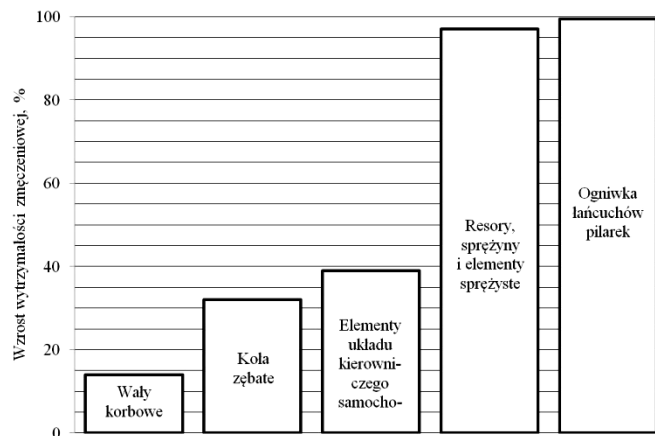
Obróbka strumieniowo-ścierna nadaje odlewom estetyczny wygląd zewnętrzny, stan i fakturę powierzchni ale również, w wyniku oddziaływania śrutu, warstwę powierzchniową, która charakteryzuje się zwiększonymi własnościami eksploatacyjnymi oraz wytrzymałościowymi (rys.4).

Efekty obróbki zależą od energii kinetycznej ziaren śrutu, intensywności jego oddziaływania na powierzchnię obrabianych wyrobów. Pod wpływem strumienia śrutu w warstwie wierzchniej zachodzą zmiany, które zależą od rodzaju materiału, stanu obróbki i od początkowego stanu powierzchni i warstwy. Polepszają się właściwości użytkowe, a przede wszystkim wytrzymałość zmęczeniową (rys. 5).

Efekty kulowania to również korzystne zmiany w wytrzymałości zmęczeniowej, tarcii, zużyciu erozyjnym, odporności na kawitację, odporności na korozję cierną (fretting).



Rys.4. Najważniejsze własności eksploatacyjne warstwy powierzchniowej [2]



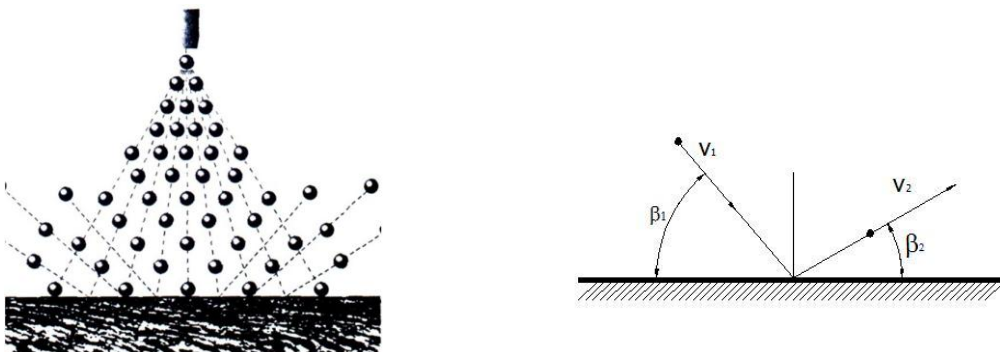
Rys. 5. Przykłady wzrostu wytrzymałości zmęczeniowej części maszyn w wyniku zastosowania kulowania [6]

1. Metodyka oceny intensywności śrutowania

Badając efekt czyszczenia stwierdza się [8], że poszczególne ziarna uderzając o przedmiot czyszczony spełniają podwójną rolę: czyszczenia przez uderzenia i czyszczenie przez zdzieranie. Różnica w hipotetycznym oddziaływaniu strumienia śrutu na powierzchnię odlewu wynika z prędkości v ziaren czyszczywa oraz kąta β padania (rys. 5). W zależności od tych parametrów możliwe są zmiany stanu powierzchni i warstwy podpowierzchniowej. Działanie uderzeniowe oraz skrawające występuje również przy stosowaniu oczyszczarek wirnikowych, produkowanych również przez PPP Technical [3,4]. Wynika to z charakteru strumienia wyrzucanego śrutu, który jest rozproszony ze względu na różnice czasu zejścia z łopatek wirnika, prędkości ziaren oraz ich masy i kształtu. Również stosowanie kilku wirników i ich zróżnicowane umiejscowienie sprzyja tym, wymienionym obróbkom.

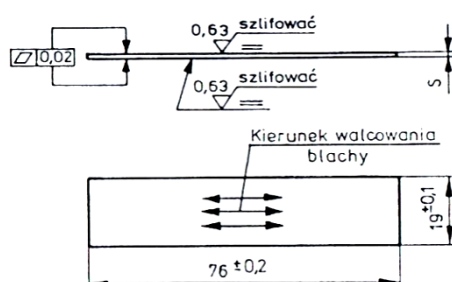
Dla oceny efektu działania uderzającego czyszczywa J.O. Almen w 1940 r opracował pośrednią metodę pomiaru energii kinetycznej ziaren czyszczywa. Metoda ta jest wykorzystywana przede wszystkim przy ustalaniu i kontrolowaniu parametrów utwardzania warstwy powierzchniowej wyrobów [1,6,8].

Amerykańska próba Almena (tzw. Almen-Test) polega na poddaniu działaniu śrutu znormalizowanych pasków blachy, które mocuje się w odpowiednich uchwytach. Wysokość ugięcia blachy jest miarą efektu śrutowania.

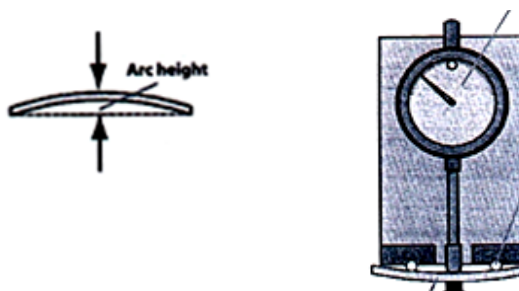


Rys. 5. Przykłady oddziaływania ziaren śrutu na powierzchnię wyrobu [6, 8]

W próbie Almena wyznacza się wartość strzałki ugięcia próbek kontrolnych o wymiarach: $76 \pm 0,2 \times 19 \pm 0,1$ mm (rys.6). Płytki te są mocowane w specjalnym uchwycie (rys.7 i 8).



Rys. 6. Wymiary płytek kontrolnych [6]



Rys. 7. Pomiar strzałki ugięcia płytek kontrolnych [1,6]

W zależności od parametrów procesu, głównie od granulacji i prędkości śrutu oraz od rodzaju obrabianego materiału, stosuje się różne typy płytek kontrolnych (C, A lub N) – tab.1.

Metodę płytek kontrolnych J.O. Almena opracował dla potrzeb procesu kulowania celem ustalenia stałych parametrów procesu utwardzania (umocnienia) powierzchni warstwy wierzchniej wyrobów w całej obrabianej serii wyrobów. Na podstawie tej próby są ustalane i porównywane takie parametry: jak intensywność oddziaływania strumienia śrutu oraz pokrycie powierzchni.

Intensywność strumienia śrutu jest określana poprzez wartość strzałki ugięcia płytek kontrolnych Almena, wykonanych zgodnie z normą SAE J 444 (Cast shot and grit for peening and cleaning, 1969) oraz BN – 80/1062-01 (Kulowanie. Wytyczne obróbki, 1980).

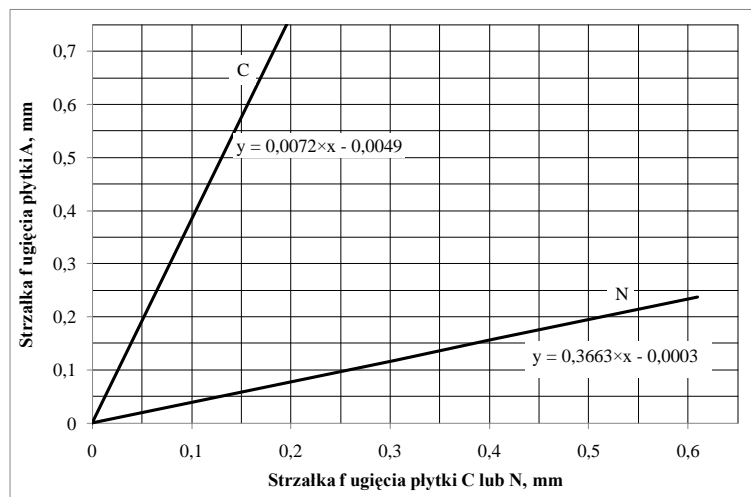
Własne badania stosowanych płytek wykazały, że są wykonane z tworzywa w składzie chemicznym, którego są następujące główne pierwiastki: C = 0,67 %, Si = 0,2 %, Mn = 0,63 %, Cr = 0,18 %. Odpowiada to składowi stali węglowej, sprężynowej (resorowej). Twardość przykładowej płytki wynosiła $46 \div 47$ HRC, co wskazuje, że są one poddawane obróbce cieplnej (hartowaniu i odpuszczaniu).

Tabela 1

Zakres stosowania płytek kontrolnych Almena [6]

Typ próbki kontrolnej	Grubość s, mm	Zakres stosowania
N	$0,8 \pm 0,02$	dla niskiej intensywności obróbki, gdy strzałka ugięcia próbki typu A wynosi $f_A < 0,15$ mm
A	$1,3 \pm 0,02$	dla średniej intensywności obróbki, gdy strzałka ugięcia próbki typu A wynosi $f_A = 0,15 \div 0,60$ mm
C	$2,4 \pm 0,02$	dla wysokiej intensywności obróbki, gdy strzałka ugięcia próbki typu A wynosi $f_A > 0,60$ mm

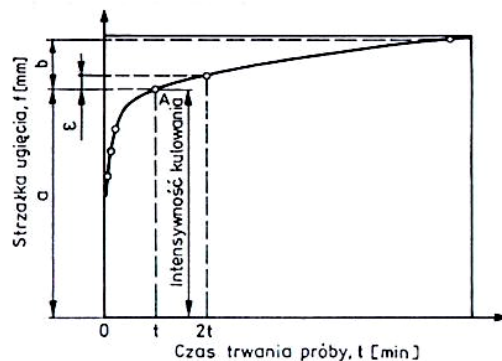
Przeliczenia wartości strzałki ugięcia różnych typów płytek można dokonać w oparciu o korelacyjne zależności przedstawione na rysunku 8.



Rys. 8. Charakterystyka płytek kontrolnych [1,6,8]

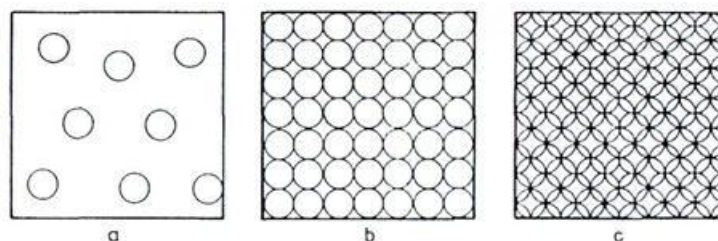
Ustalenie optymalnej intensywności polega na wyznaczeniu zależności ugięcia płytki kontrolnej Almena od czasu obróbki w postaci wykresu podanego na rysunku 9. Czas obróbki ustala się przy spełnieniu warunku: $\varepsilon = a/\varepsilon$; wówczas czas odpowiadający punktowi A na krzywej przyjmuje się za czas śrutowania. Powyżej punktu A (strefa b) dużym przyrostom czasu odpowiadają bardzo małe strzałki ugięcia.

Parametrem ściśle wiążącym się z intensywnością kulowania i mającym istotny wpływ na jakość obróbki jest stopień pokrycia powierzchni próbek kontrolnych Almena lub powierzchni wyrobów.



Rys. 9. Krzywa intensywności kulowania: a – strefa dużych zmian wartości strzałki ugięcia próbki kontrolnej, b – strefa małych zmian strzałki ugięcia próbki kontrolnej [1,6]

Pokrycie powierzchni jest to iloraz wartości powierzchni obrabianej przez śrut (z odciskami śrutu) do całkowitej powierzchni próbki kontrolnej Almena lub powierzchni próbki wyrobu (rys. 10). Obserwację powierzchni przy ustalaniu stopnia pokrycia powierzchni wykonuje się przy użyciu mikroskopu, przy powiększeniu 50-krotnym [2].



Rys. 10. Schemat powierzchni o zróżnicowanym stopniu pokrycia: a - niedopuszczalne, b - nieprawidłowe, c - prawidłowe; efekt kulowania najkorzystniejszy [6]

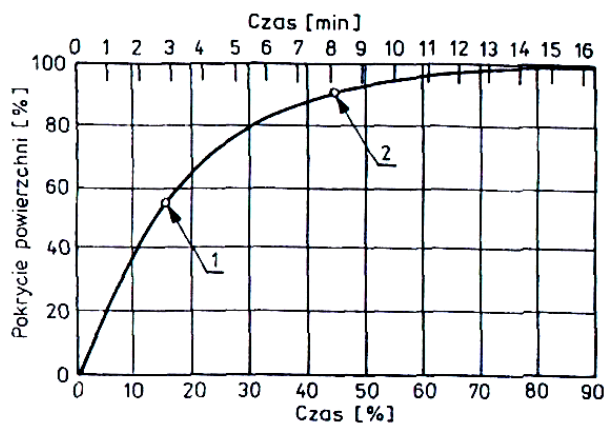
Stopień pokrycia powierzchni oczyszczanego wyrobu zmienia się, wzrasta wraz ze wzrostem czasu obróbki (rys. 11). Postuluje się aby wartość stopnia pokrycia powierzchni, w wyniku kulowania, wynosiła powyżej 80% [5].

Dla oceny pokrycia powierzchni opracowano również specjalne wzorce podające widok powierzchni o różnym, procentowym pokryciu odciskami śrutu (rys. 12).

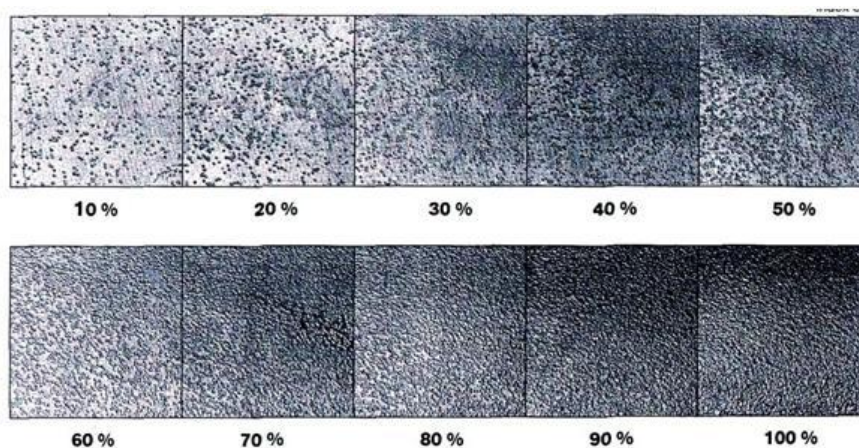
Zmianę wielkości powierzchni poddanej obróbce określa zależność:

$$S = 1 - (1 - S_1)^n ; \%$$

- gdzie: S - powierzchnia pokryta odciskami ziaren śrutu po n cyklach; %,
 S1 - powierzchnia odcisków obrabianej po 1 cyklu; %,
 n - krotność obróbki; liczba przejść czyściwa przez wirnik.



Rys. 11. Wzrost pokrycia powierzchni w funkcji czasu: 1 - czas obróbki odpowiadający 55 % pokryciu powierzchni, 2 - czas obróbki dla uzyskania 90% pokrycia [1,6]



Rys. 12. Wzorce powierzchni obrabianego wyrobu [1,6]

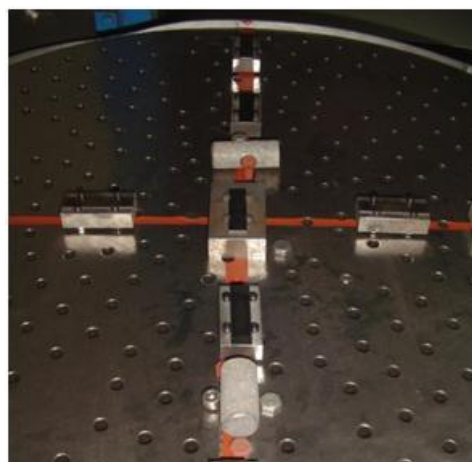
Badania własne, które dotyczą ustalenia efektów obróbki strumieniowo – ścierniej odlewów przeprowadzono przy użyciu oczyszczarki wirnikowej, stołowej OWS – 1000, która jest eksploatowana w PPP Technical. Charakterystyka oraz zakres podstawowych parametrów pracy przedstawiają się następująco: ilość wirników – 2, natężenie podawania śrutu - $\dot{m} = 50 \div 150$ kg/min, prędkość obrotowa wirników – $n = 0 \div 2960$ 1/min, śrut stalowy lany lub stalowy cięty o granulacji $0,2 \div 1,2$ mm.

Pomiaru intensywności oddziaływania śrutu dokonywano umieszczając na stole oczyszczarki płytki kontrolne (rys. 13) oraz odlewy (rys.14).

Na podstawie pomiarów z użyciem płytek kontrolnych możliwe było wyznaczenie intensywności i obszaru oddziaływania strumienia śrutu. Uzupełniającymi pomiarami było również wyznaczanie prędkości ziaren śrutu oraz siły nacisku [8].

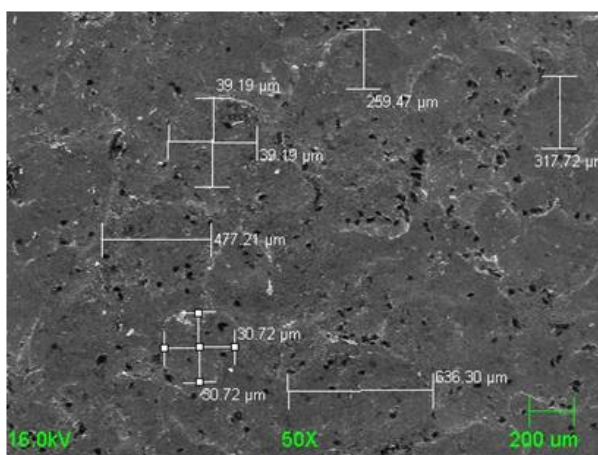


Rys.13. Widok płytek zamocowanych w uchwytach



Rys.14. Przykładowe rozmieszczenie odlewów na stole roboczym oczyszczarki

Przykładową powierzchnię płytki typu A poddaną śrutowaniu przedstawiono na rysunku 15.



Rys.15. Powierzchni płytki typu A przy powiększeniu $\times 50$; parametry oczyszczania: $\tau = 60$ s, $n = 2933$ 1/min, $\dot{m} = 162$ kg/min

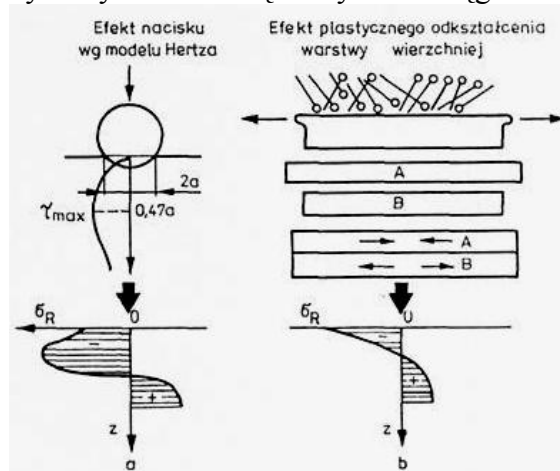
2. Efekty obróbki strumieniowo-ścierniej

Efekty obróbki strumieniowo – ścierniej przez uderzenia i skrawanie śrutem to uzyskanie wymaganego stanu powierzchni tj. jej czystości i chropowatości, ale ponadto twardości, rozkładu naprężeń własnych, właściwości mechanicznych oraz odporności korozyjnej. W wyniku kulowania ulegają również zmianie takie właściwości materiału jak: gęstość, przewodność elektryczna i cieplna, przenikalność magnetyczna, potencjał elektryczny, energia swobodna [6].

Efekty dynamicznej (uderzeniowej), obróbki powierzchniowej wyrobów z tworzyw metalowych powoduje zmianę stanu warstwy wierzchniej. W wyniku zgniotu warstwy wierzchniej pojawia się umocnienie metalu i szereg zmian fizykochemicznych.

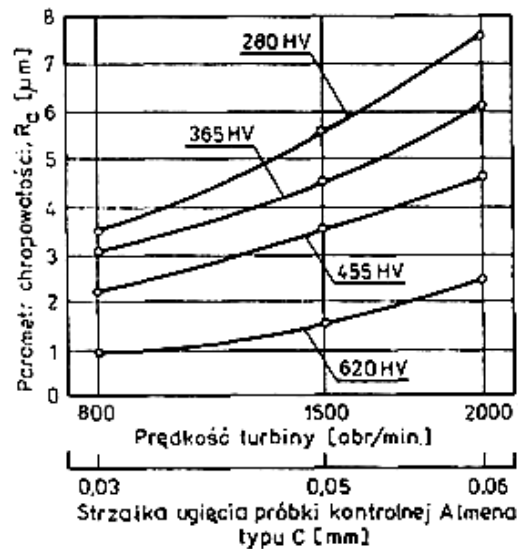
Kulowanie charakteryzuje powstawanie naprężeń ściskających, co można wykorzystywać dla kompensacji stanu technologicznych naprężeń. Przyczyną powstawania ściskających naprężeń własnych są przede wszystkim odkształcenia plastyczne, a następnie temperatura i przemiany strukturalne. Wskutek odkształcenia plastycznego zwiększa się gęstość metalu (zmniejsza się objętość właściwa) w warstwach położonych najbliżej powierzchni kulowanej. Głębiej położone warstwy metalu nie pozwalają na swobodne i pełne rozprzestrzenienie się (w głąb) odkształceń plastycznych. Powodem powstawania ściskających naprężeń własnych jest dążenie warstwy odkształcanej do zwiększenia objętości, któremu przeciwdziałają sprężyste, głębiej położone, warstwy metalu.

Mechanizm powstawania naprężeń ściskających w warstwie wierzchniej zależy od właściwości tworzyw obrabianych wyrobów. W przypadku materiałów twardych o wysokiej twardości ($HV \geq 600$) naprężenia są wywoływane przez siły normalne do obrabianej powierzchni. Maksymalne naprężenia styczne τ_{max} wywołane naprężeniami normalnymi są usytuowane pod powierzchnią na głębokości $h = 0,47 \times s$ (rys. 16 a). W przypadku materiałów plastycznych (o niskiej twardości) np. stopów aluminiowych ($HV \leq 300$) kulowanie powoduje powstawanie dużych odkształceń plastycznych przy powierzchni wyrobów. Zwiększeniu wymiarów kulowanej warstwy A materiału przeciwstawia się warstwa B powodując w rezultacie powstanie rozkładu naprężeń własnych (rys.16 b). Maksymalna wartość naprężeń ściskających występuje na powierzchni obrabianego materiału. Wywołany stan naprężeń powodują, w zależności od rodzaju obrabianego materiału, zmiany w strukturze warstwy wierzchniej. Przykładowo w przypadku kulowania stali nawęglonych badania wykazują przemiany austenitu szcążkowego w martenzyt i wydzielanie się nowych faz węglkowych [6].



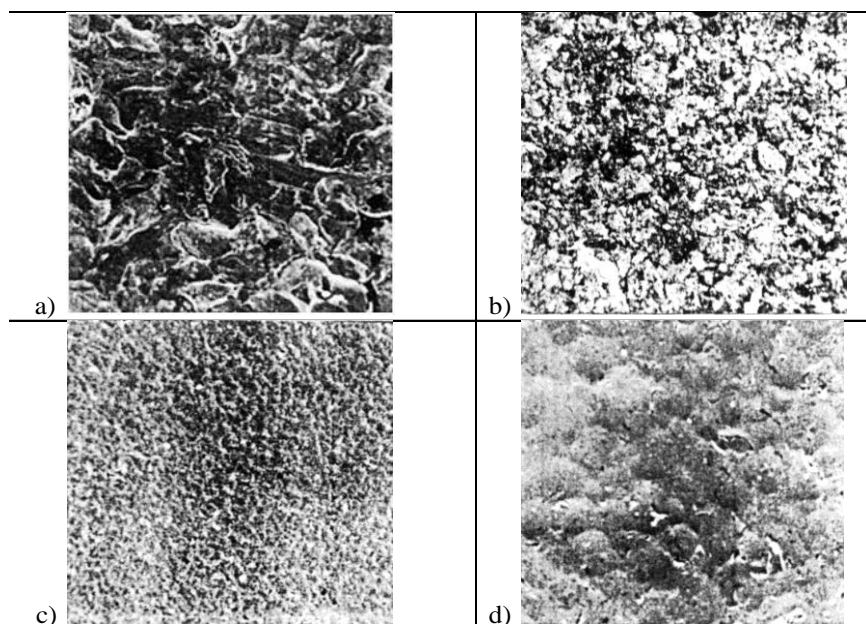
Rys. 16. Model powstawania naprężeń ściskających w wyniku kulowania materiałów [6]:
a – twardych $HV \geq 600$, b – plastycznych ($HV \leq 300$)

W wyniku kulowania zmienia się stereometria powierzchni, tzn. wzrasta chropowatość powierzchni. Na rysunku 17 pokazano zmiany chropowatości powierzchni stali 45 CD6 w zależności od intensywności kulowania i twardości powierzchni kulowanych.



Rys. 17. Zmiany chropowatości powierzchni w zależności od intensywności kulowania i twardości kulowanego materiału (45SCD6); śrut stalowy ϕ 0,8 mm [6]

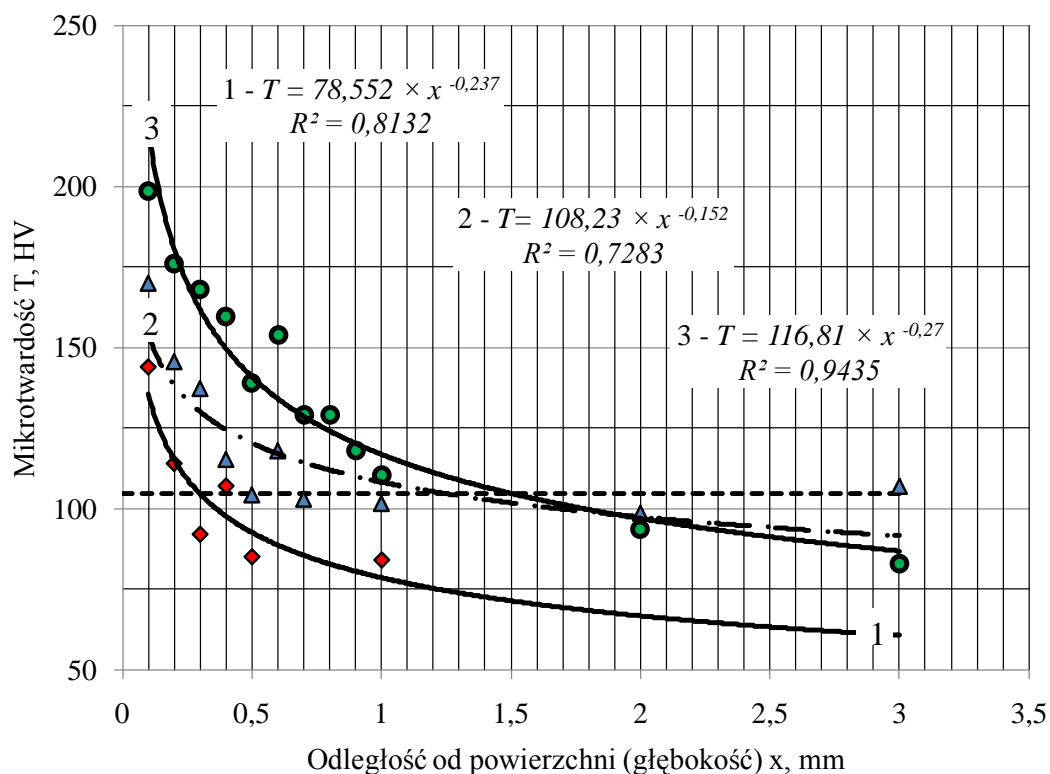
Pomiary chropowatości powierzchni wyrobów kulowanych wykazały, że w zależności od rodzaju czyszczywa otrzymuje się różne chropowatości powierzchni. Stwierdzono, że chropowatość powierzchni kulowanej kulkami szklanymi jest ok. 50% wyższa niż powierzchni szlifowanej [6]. Stan powierzchni po kulowaniu przedstawiono na rysunku 18.



Rys. 18. Struktura powierzchni próbek po kulowaniu [6]: a – śrutem stalowym, ciętym ϕ 0,6 mm, b – śrutem stalowym, lanym ϕ 0,2 ÷ 0,5 mm, c – kulkami szklanymi ϕ 0,05 mm, d – kulkami szklanymi ϕ 0,6 mm

Dynamiczna, powierzchniowa obróbka plastyczna wpływa na korzystny rozkład właściwości mechanicznych w warstwie wierzchniej.

W ramach własnych badań przeprowadzono szereg prób stosując odlewy testowe z różnych tworzyw. Próbkę do badań mikrotwardości przygotowano tak, że pomiarów dokonywano na przekroju poprzecznym. Obciążenie dobierano w zależności od rodzaju materiału i głębokości odkształcenia plastycznego. Mikrotwardość wyznaczano metodą Hanemana z wykorzystaniem mikroskopu optycznego Neophot 32. Przykładowe wyniki badania odlewów testowych wykonanych z brązu CuZn 43 przedstawiono na rysunku 19.



Rys. 19. Rozkład mikrotwardości na przekroju odlewu próbnego; tworzywo odlewu CuZn 45; linia pozioma, przerywana oznacza twardość warstw oddalonych od powierzchni:

1 – obroty wirnika

$n = 1555$ 1/min, czas procesu $t = 1$ min, 2 – $n = 2785$ 1/min, $t = 1$ min, 3 – $n = 2780$ 1/min, $t = 3$ min

Jak wynika z przytoczonych danych zasięg oddziaływania śrutu zależy od czasu i intensywności oddziaływania strumienia śrutu. Intensywność oddziaływania śrutu scharakteryzowano prędkością obrotów wirnika rzutowego. Dokładniejsze ustalenia wymagały stosowania płytek Almena.

Proces oczyszczania, a przede wszystkim kulowania wymaga okresowego sprawdzenia stanu czyszczywa tak aby zachowywać porównywalne efekty oddziaływania. Wymagania dotyczące śrutu stosowanego do kulowania przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Zestawienie danych do kontroli mieszanki śrutu i parametrów kulowania

Parametr (żądane właściwości)	Okres kontroli parametru		
	część kulowane	próbki kontrolne Almena	mieszanka śrutu
Intensywność kulowania strzałka ugięcia płytki Almena np. $f_c=0,25+0,05$ mm		po 60 godz (śrut stalowy, cięty) po 10 godz (śrut lany)	
Stopień pokrycia powierzchni	po 20 godz. kulowania	po 60 godz (śrut stalowy, cięty) po 10 godz (śrut lany)	
Analiza sitowa śrutu wsadowego			w chwili dostawy i po wstępnym zaokrągleniu śrutu ciętego z drutu
Analiza sitowa mieszanki roboczej			po 60 godz (śrut stalowy cięty) po 10 godz (śrut lany)

* dot. użębienia kół

Podsumowanie

Obróbka strumieniowo-ścierna nadaje odlewom estetyczny wygląd zewnętrzny, stan i fakturę powierzchni. W wyniku oddziaływania śrutu zmieniają się także właściwości warstwy powierzchniowej. Charakteryzuje się ona zwiększonymi własnościami eksploatacyjnymi oraz wytrzymałościowymi.

Odlewnicy nie eksponują wszystkich walorów obróbki strumieniem śrutu. Powinni podkreślać, że oczyszczane odlewy uzyskują w wyniku obróbki strumieniowo – ścierniej korzystne właściwości. Uzyskaniu wymaganej jakości powierzchni towarzyszy poprawa stanu naprężeń, zwiększenie twardości warstwy przypowierzchniowej, poprawa odporności korozyjnych, co korzystnie wpłynie na własności eksploatacyjne wyrobów (odlewów).

Świadome uzyskiwanie efektów wymaga jednak ustalenia parametrów procesu: intensywności oddziaływania (pomiar przy użyciu płytek kontrolnych), jak również stopnia pokrycia. Wymagane jest zachowanie reżimu technologicznego i okresowa kontrola parametrów procesu oraz stanu czyściwa.

Literatura

- [1] Baiker S. i in.: Shot Peening. A Dynamic Application and Its Future. Metal Finishing News (MFN). 1st Edition. Wetzikon, Switzerland, 2006
- [2] Dobrzański L.A.: Podstawy kształtowania struktury i własności materiałów metalowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice, 2007
- [3] Fedoryszyn A., Piosik T., Zyzak P.: Metodyka oceny intensywności działania strumienia śrutu w oparciu o próbę Almena. Archives of Foundry Engineering. Volume 9, Issue 4/2009. Katowice-Gliwice 2009, s.246
- [4] Fedoryszyn A., Zyzak P.: Charakterystyka strumienia śrutu w zależności od parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych zespołu rzutowego oczyszczarek wirnikowych. IV Międzynarodowa Konferencja „Tendencje Rozwojowe w Mechanizacji Procesów Odlewniczych”. Archives of Metallurgy and Materials. Polska Akademia Nauk, Kraków, 2007, vol. 52, s. 401
- [5] Łempicki J., Paradysz J.: Oczyszczanie i wykańczanie odlewów żeliwnych i staliwnych. WNT, Warszawa, 1979
- [6] Nakonieczny A.: Dynamiczna powierzchniowa obróbka plastyczna. Kulowanie. Shot Peening. Instytut mechaniki Precyzyjnej. Warszawa, 2002
- [7] Piosik T.: Wirnikowe oczyszczarki strumieniowo – ściernie. Materiały Sympozjum „Metody i środki do strumieniowo-ściernego przygotowania podłoży metali pod powłoki ochronne”. Instytut Mechaniki Precyzyjnej. Hajnówka, 2001, s. 89.
- [8] Zyzak P.: Analiza wpływu parametrów strumienia śrutu na jakość powierzchni oczyszczonych odlewów. Praca doktorska. Wydział Odlewnictwa AGH. Kraków, 2010
- [9] <http://www.metimpex.com.pl> , <http://www.mfn.li> , <http://www.technical.com.pl>

WPLYW TEMPERATURY NA KINETYKĘ „OBSYCHANIA” WIERZCHNIEJ WARSTWY FORM PIASKOWYCH WYKONANYCH Z WILGOTNYCH MAS KLASYCZNYCH

Jerzy ZYCH¹
Łukasz JAMROZOWICZ²

1. Wprowadzenie

Kształtowanie jakości powierzchni odlewów wykonywanych w formach odlewniczych jest ściśle związane z chwilowym stanem wierzchniej warstwy formy. Stan powierzchni form z kolei zależy od bardzo wielu czynników, a ponadto jest niestabilny, niestały. Szczególnie ważnym ale i ulegającym daleko idącym zmianom w miarę upływu czasu po wykonaniu formy jest stan wierzchniej warstwy form wilgotnych, stosowanych w klasycznej technologii form piaskowych. Głównym parametrem opisującym stan formy jest wytrzymałość masy, zdolność formy do zachowania spójności (brak skłonności do osypywania się) zarówno podczas oczekiwania na zalewanie, w trakcie cieplnego i erozyjnego oddziaływania ciekłego metalu.

Wierzchnia warstwa form jest w bezpośrednim kontakcie z otoczeniem (atmosferą) i w zależności o warunków atmosferycznych jest narażona na powolną lub szybką utratę części wody, która jest składnikiem mas wilgotnych. Zmiana zawartości wody prowadzi skurczu „spoiwa” łączącego najczęściej kwarcowe ziarna osnowy. Naturalnie opisanym „spoiwem” w masach klasycznych jest pasta (suspensja) utworzona z wody i drobnoziarnistej glinki montmorylonitowej. Skurcz pasty wodno-glinowej w obrębie mostka wywołany utratą wilgoci prowadzi do tworzenia mikropęknięć, obniżania wytrzymałości połączeń, a w dalszej kolejności odrywania się pojedynczych ziaren osnowy. O ile samo zjawisko „obsychania” wierzchniej warstwy form wilgotnych jest powszechnie znane [1-4], to sama kinetyka tego zjawiska już nie jest tak dobrze rozpoznana. Formy mogą być wykonywane z mas na osnowie osnowy drobnoziarnistej lub osnowy z grubszym ziarnem, masa w obrębie omawianej warstwy może być lepiej lub gorzej zagęszczona, może mieć niższą lub wyższą temperaturę i może kontaktować się z bardziej lub mniej nagrzanym powietrzem. Wszystkie te czynniki wpływają na szybkość, z jaką masa tworząca wierzchnią warstwę formy, traci wodę.

W ramach badań opisanych poniżej opracowano własną metodykę badań i wykonano pomiary dla opisanego kinetyki „obsychania” wierzchniej warstwy form wilgotnych. Celem badań było wyznaczenie wpływu na szybkość utraty wody takich czynników jak: temperatura masy (T_m), jej stopień zagęszczenia mierzony gęstością pozorną (ρ_o), wielkość ziarna osnowy (d_L), wilgotność masy.

2. Badania

2.1 Metodyka badań

Badania kinetyki obsychania wierzchniej warstwy masy wilgotnej przeprowadzono przy użyciu wagouszarki WPS 110S firmy RADWAG. Waga, podczas pomiarów, była podłączona do komputera przez łącze RS232. Wyniki suszenia były zbierane przez

¹ dr hab. inż., Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa Kraków

² mgr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa Kraków

odpowiedni program z częstotliwością co 6 sekund. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawia rysunek 1.

Badana masa zagęszczana była w pierścieniu stalowym o wewnętrznej średnicy $d = 60\text{mm}$ i wysokości $h = 5,0\text{mm}$. Tak uformowana próbka umieszczana była w wagosuszarce i w dalszej kolejności poddawana procesowi nagrzewania do wybranej temperatury pomiarowej.



Rys. 1. Stanowisko do badań kinetyki suszenia mas

Badaniom poddano masę świeżą, sporządzoną w mieszarce krążnikowej. Do mieszarki wsypano piasek kwarcowy i bentonit i mieszano przez 2 minuty, następnie dodano wodę i mieszano przez 4 minuty. Następnie masa była poddana homogenizacji w worku foliowym przez 24 godziny. Po tym czasie masa była spulchniana przez sito. W ten sposób przygotowana masa była poddawana badaniom. Okres pomiarowy w każdej próbie wynosił 180 minut suszenia masy.

Wilgotność masy była określana na wago suszarce WPS 110S. Nawązka masy (30 - 50 g) była równomiernie rozproszana na szalce, a następnie poddawana suszeniu w temperaturze 130°C . Badania prowadzono z użyciem mas zawierających: 7,0 % bentonitu Specjal, 4,5% pyłu węglowego oraz wilgotności 2,0 – 4,0%. Jako osnowę stosowano piasek kwarcowy z kopalni Grudzeń Las (FG 20,16,10), kopalni Szczakowa w trzech rodzajach: „średni” (FG 32,20,16), „gruby” (FG 40,32,20) i „bardzo gruby” (FG 63,40,32).

2.2 Zakres przeprowadzone badań

Realizując nakreślony we wstępie cel badań wykonano pomiary, które obejmowały wyznaczenia wpływu na kinetykę obsychania masy takich czynników jak:

- temperatura masy (w zakresie $T_m = 35 - 90^{\circ}\text{C}$)
- stopień zagęszczenia (gęstość pozorna $\rho_o = 1,1 - 1,5 [\text{g}/\text{cm}^3]$)
- wielkości ziarna osnowy ($d_L = 0,16 - 0,40\text{mm}$)

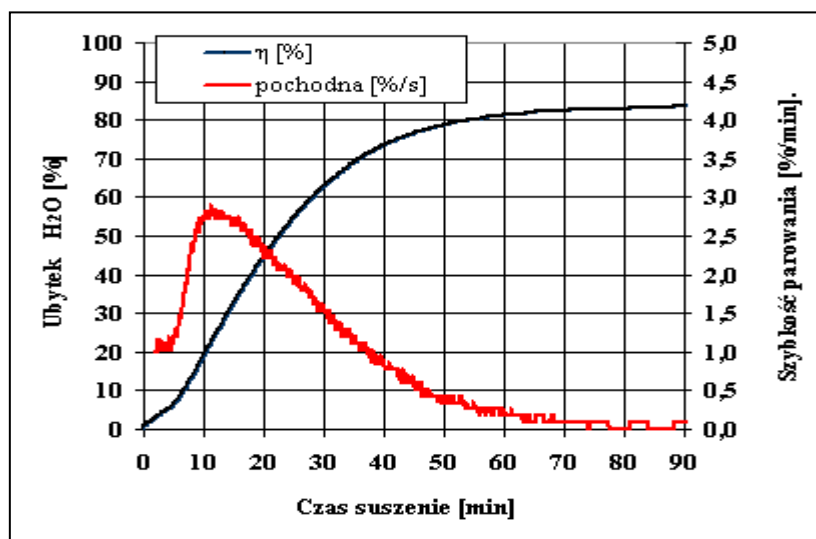
2.3 Wyniki badań

2.3.1 Wpływy temperatury masy

Szybkość utarty wody z masy formierskiej jest w pierwszej kolejności uwarunkowana temperaturę samej masy oraz temperaturę i wilgotnością powietrza. W technologicznych warunkach odświeżona i przerobiona masa formierska kierowana na stanowisko formowania może mieć temperaturę mieszczącą się dość szerokim zakresie, od nieco wyższej 0°C (w okresie zimowym) do temperatury niekiedy powyżej nawet 50°C (okres letni) Na ogół nie zaleca się stosowanie masy o temperaturze powyżej 45°C , ale to głównie z powodu zdecydowanej utraty zagęszczalności i obniżenia się możliwości uzyskiwania dobrze wykształconych mostków łączących ziarna osnowy[4-6].

W zaleceniach odnoszących się do temperatury nie rozważa się problemu kinetyki wysychania podgrzanej masy.

W pracy wykonano badania mające określić wpływ temperatury na szybkość i kinetykę wysychania.



Rys. 2. Kinetyka wysychania masy bentonitowej w warstwie o grubości 5,0mm.
Warunki badań: $\rho_0 = 1,48$ [g/cm³], $W = 3,80\%$, osnowa Szczakowa

Na **rysunku 2** przedstawiono kinetykę wysychania masy w temperaturze $T = 50^\circ\text{C}$. Pokazano, w formie przykładu, wyniki badań względnego ubytku wilgoci w masie (η) poddanej działaniu opisanej temperatury. Wyliczono szybkość ($d\eta/dt$), z jaką postępuje ten proces w okresie około 1,5h, dalsze zmiany trwające w okresie badań (180 min) nie są już istotne. W obliczeniach za 100% przyjęto wilgotność masy przed rozpoczęciem procesu wysychania, a względny ubytek masy (η) obliczano z zależności (1).

$$\eta = \frac{m_{w(x)}}{m_{w(\max)}} \cdot 100 \quad (1)$$

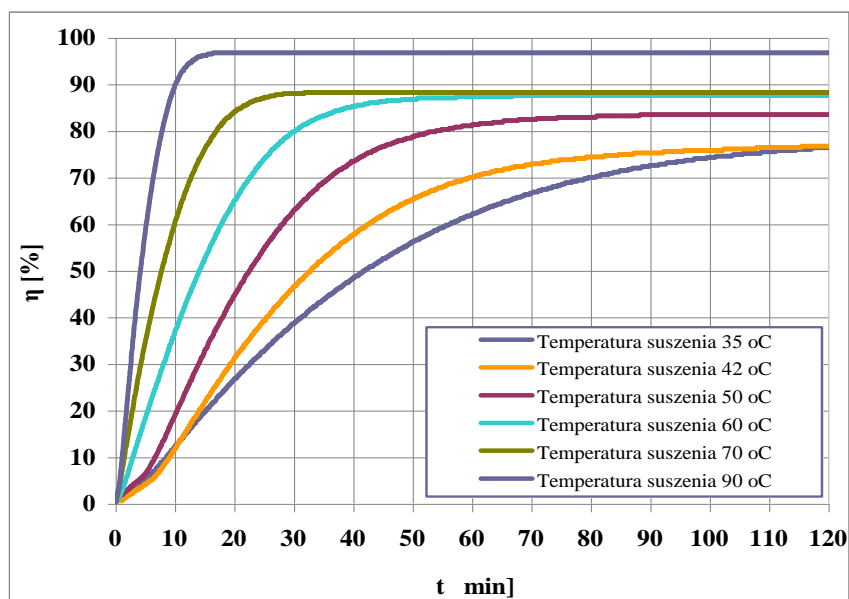
gdzie:

$m_{w(x)}$ – ubytek wody, rejestrowany przez wago-suszarke, po wybranym okresie suszenia [%]

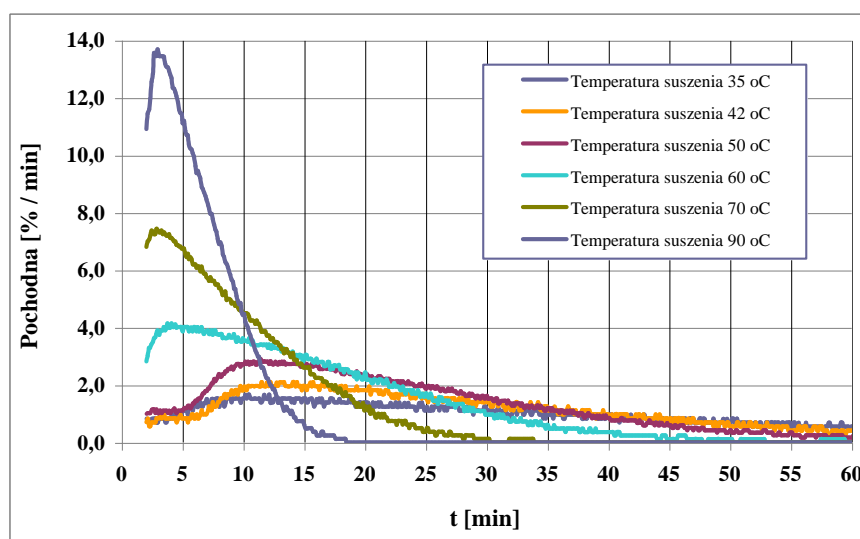
$m_{w(x)}$ – całkowita (początkowa) wilgotność badanej masy [%]

η - względny ubytek wilgoci masy poddanej suszeniu.

Na osi czasu suszenia można wyznaczyć trzy istotne punkty, odnoszące się do kinetyki utraty wilgoci masy bentonitowej: pierwszy – to moment, kiedy proces suszenia wyraźnie przyspiesza ($\tau = 5,0\text{min}$), drugi – to moment, kiedy szybkość osiąga maksimum ($\tau = 12\text{min}$) i trzeci - to czas, po upływie, którego wysychanie przebiega już bardzo wolno ($\tau = 70\text{min}$). Dla oceny wpływu czynników technologicznych i temperatury masy wydaje się, iż ważniejsze są momenty: drugi i trzeci. Na **rysunku 3** przedstawiono zbiorczo przebiegi wysychania opisanej masy zarejestrowane przy kilku wybranych wartościach temperatury (wysychania), dla zakresu $T = 35 - 90^\circ\text{C}$.

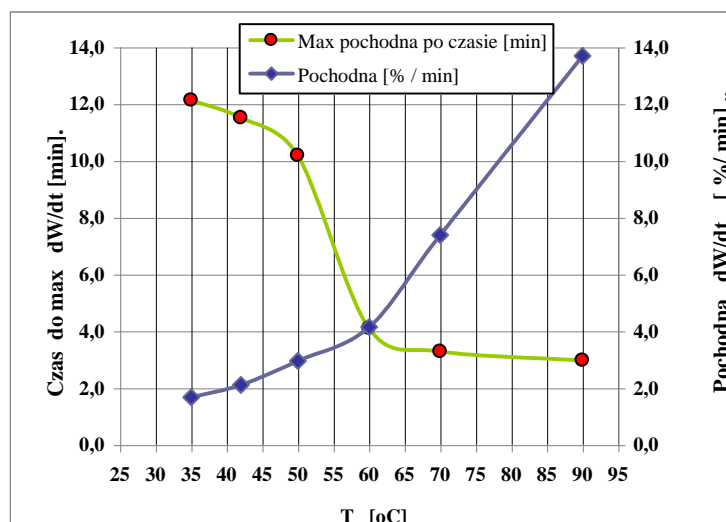


Rys. 3. Przebieg wysychania cienkiej warstwy (5,0mm) masy przy wybranych wartościach temperatury, masa zagęszczona do wartości $\rho_o = 1,50 \text{ g/cm}^3$.



Rys. 4. Szybkość ($d\eta/dt$) wysychania cienkiej warstwy (5,0mm) masy przy wybranych wartościach temperatury, masa zagęszczona do wartości $\rho_o = 1,50 \text{ g/cm}^3$.

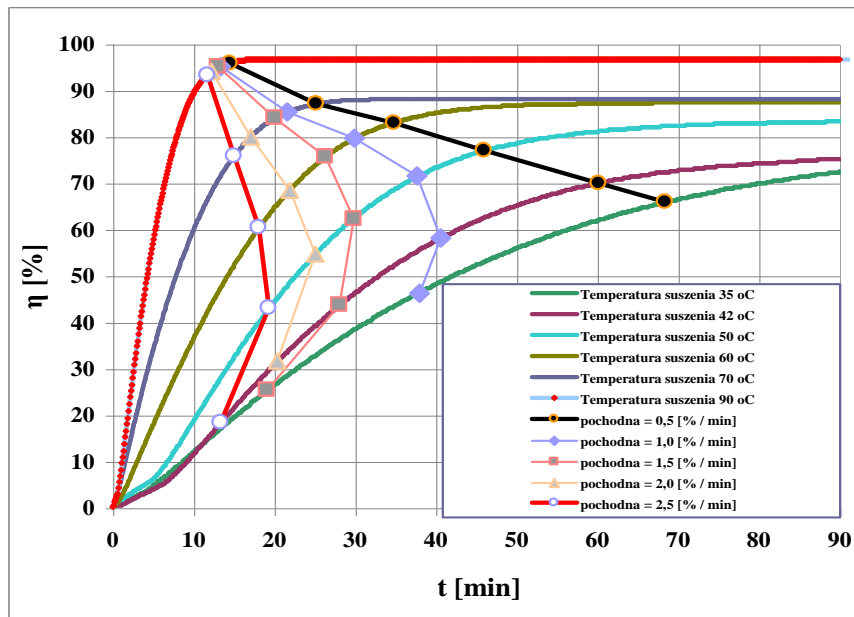
Szybkość utraty wody z masy wilgotnej może być opisana jest kilkoma wskaźnikami, wzajemnie ze sobą powiązаныmi. Z punktu widzenia kinetyki wysychania ważny jest: czas do osiągnięcia maksimum, wartość maksimum i czas do osiągnięcia wyraźnego zwolnienia procesu. Przy dużych szybkościach (np. gdy $T = 70 - 90^\circ\text{C}$.) łatwo wyznaczyć poszczególne, wymienione czasookresy i momenty i łatwo opisać proces wysychania. Trudności pojawiają się przy wyraźnie niższych wartościach temperatury, jednak temperaturach realnych technologicznie.



Rys. 5 Wpływ temperatury masy na maksymalną szybkość jej wysychania i czas do osiągnięcia maksimum szybkości procesu

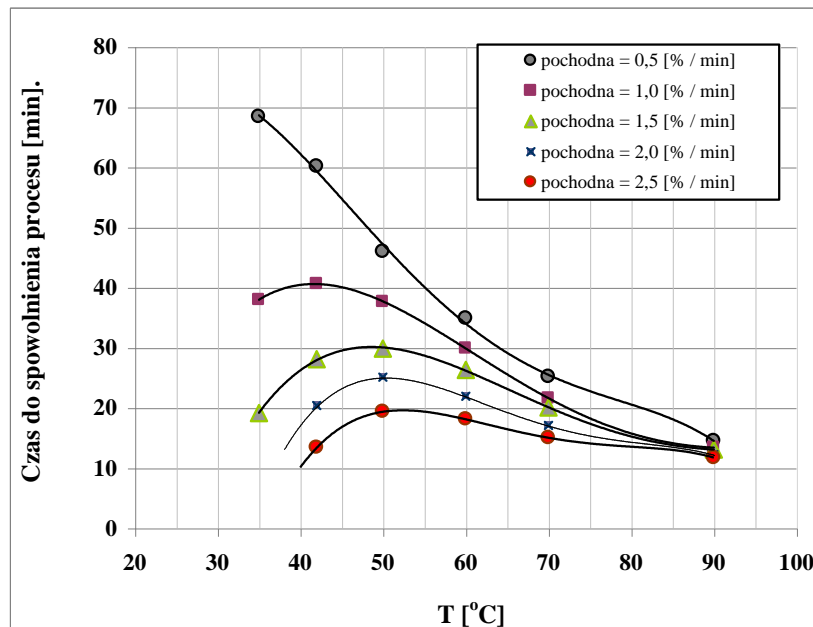
Analiza **rysunku 5**, wyznaczonego na podstawie danych zawartych na **rysunku 4**, prowadzi do ważnego spostrzeżenia: proces wysychania masy zdecydowanie przyspiesza po przekroczeniu temperatury około 50°C. Wtedy, z około 12 do nieco ponad 3,0 minuty skraca się czas, w którym szybkość wysychania osiąga maksimum. W podobnym przedziale czasu sama szybkość wysychania ($d\eta/dt$) zwiększa swoją wartość z 2,0 - 3,0 do blisko 14,0 [%/min]. Oznacza to, iż po przekroczeniu temperatury 50°C wilgotna masa bentonitowa bardzo szybko i w krótkim czasie traci wodę. W niższych wartościach temperatury proces ten jest wyraźnie wolniejszy.

Jeszcze inną obserwacją, którą daje się spostrzec przy analizie kinetyki wysychania jest czasookres przejścia z okresu szybkiej utraty wilgoci do okresu powolnego wysychania. Widać to na **rysunku 6**. Analizując szybkości wysychania masy w zakresie temperatury od ~30 do 90°C (rys.), za powolne wysychania można (umownie) uznać takie, w którym szybkość ($d\eta/dt$) osiąga wartość mniejsze niż 2,0 – 2,5 [%/min]. Technologicznie trudna do zauważenia jest utrata wilgoci z jeszcze mniejszą szybkością, tj. przy $d\eta/dt = 0,5$ [%/min]. Przy temperaturze 90°C okres „wyhamowania” procesu wysychania masy ($d\eta/dt = 2,5 - 0,5$ (%/min)) trwa niespełna 5,0 minut; przy temperaturze 50°C ten sam okres trwa już blisko 30min, a w temperaturze bliskiej 30°C – trwa on już ponad 60 min. Również z tego punktu widzenia przekroczenie temperatury masy ponad 50°C oznacza wyraźne skrócenie okresu spowolnienia procesu wysychania masy.



Rys. 6. Wpływ temperatury masy na kinetykę wysychania masy wilgotnej. Zakres powolnego procesu wysychania ($d\eta/dt = 0,5 - 2,5$ %/min).

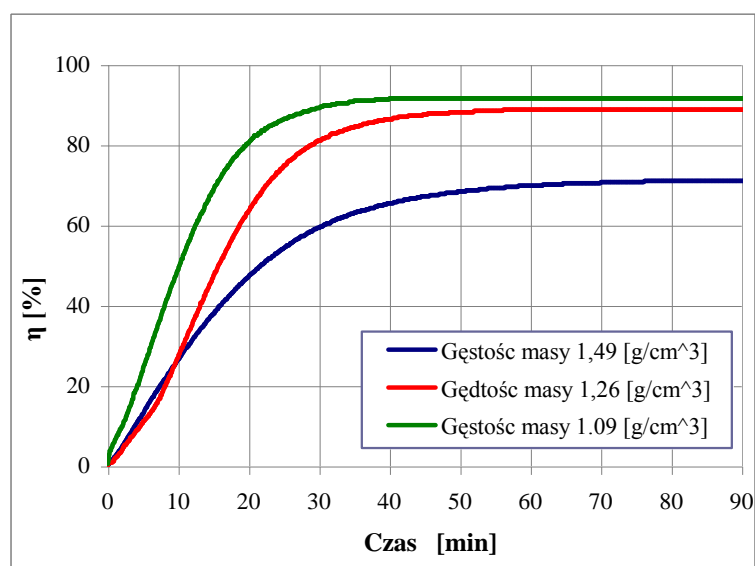
Wpływ temperatury na do osiągnięcia kolejnych, chwilowych szybkości wysychania w okresie spowalniania szybkości procesu utraty wody przedstawiono na rysunku 8, utworzonym w oparciu o dane z rysunku 7. Górna linia wykresu, odnosząca się do szybkości zmian (względnych) wilgotności wynoszących $d\eta/dt = 0,50$ [%/min] określa czasy, w których masa utraciła zasadniczą część swojej wody, a proces dalszego parowania jest bardzo wolny.



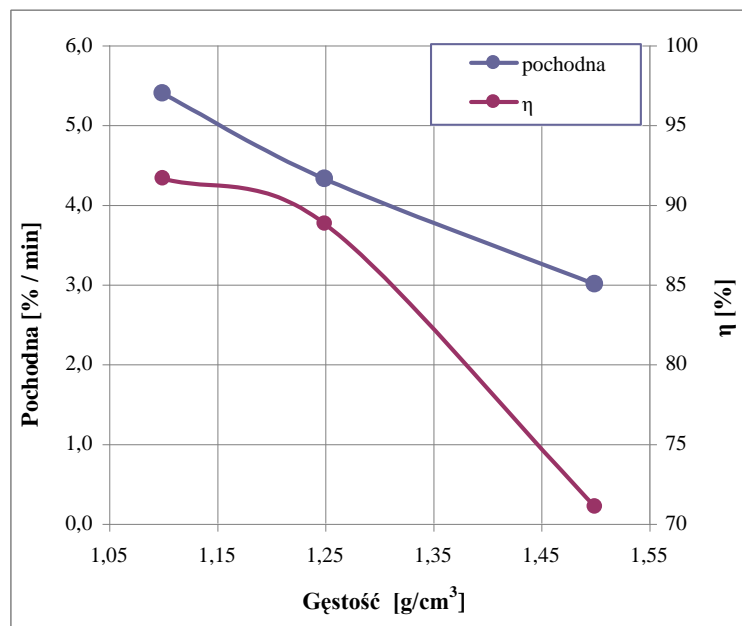
Rys. 7. Wpływ temperatury masy na czasookres intensywnego parowania wody (okres do wyraźnego spowolnienia procesu wysychania)

2.3.2 Wpływy zagęszczenia masy

Masa formierska w procesie technologicznym może być zagęszczona w różnym stopniu, również w obrębie wierzchniej warstwy formy stopień zagęszczenia nie jest jednolity. Można oczekiwać, iż w miarę zwiększania stopnia zagęszczenia, zmniejszania średnic kapilar międzyziarnowych, proces wysychania będzie inną kinetykę. Dla weryfikacji tej tezy przeprowadzono badania kinetyki wysychania przy temperaturze 50°C masy, której próbki miały gęstość pozorną (ρ_0): **1,09; 1,26; 1,49 g/cm³**. Masa sporządzona została z użyciem osnowy o średniej wielkości ziarna ("Szczakowa"; FG: 0,32;0,20;0,16). Przebiegi wysychania masy przedstawiono na **rysunku 8**, a wyniki analizy tych przebiegów na rysunku 9. Zwiększenie gęstości po z około 1,1 do blisko 1,50 [g/cm³] zmniejsza szybkość (max) z 5,5 do około 3,0 [%/min], a więc blisko dwukrotnie. Zmniejsza się również stopień wysuszenia rejestrowany po 3h badań, z 90 do około 70% (rys. 9).



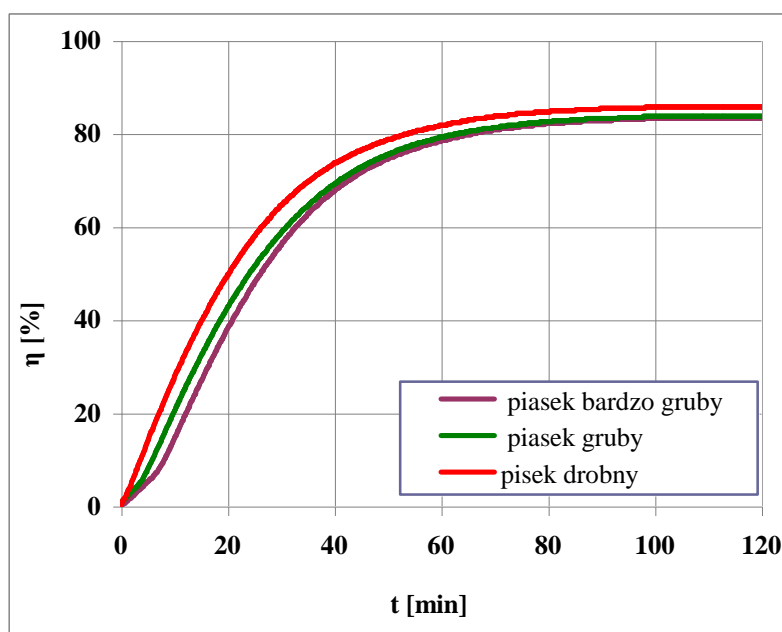
Rys. 8. Wpływ zagęszczenia masy na kinetykę wysychania masy w wierzchniej warstwie nagrzanej do temperatury 50°C.



Rys. 9. Wpływ gęstości pozornej masy wilgotnej na szybkość wysychania i stopień wysuszenie (po 3h).

2.3.3 Wpływy wielkości ziarna osnowy

Tą część badań przeprowadzono dla warunków: $W = 3,9 \%$, $\rho_o = 1,5 \text{ g/cm}^3$, $\tau_{\text{susz}} = 3\text{h}$, $T_{\text{susz}} = 50^\circ\text{C}$. Oceniano wysychanie warstw masy sporządzonych na osnowie piasków kwarcowych: **drobny, gruby i bardzo gruby**. Przebiegi wysychania masy zamieszczono na rysunku 10. Przy zachowaniu ustabilizowanej gęstości pozornej masy bentonitowej, wielkość ziarna osnowy wywiera drugorzędne znaczenie. Przy zmianach d_L osnowy kwarcowej w granicach technologicznie uzasadnionych, szybkości wysychania poszczególnych rodzajów masy są do siebie bardzo zbliżone w całym okresie wysychania.



Rys. 10. Wpływ rodzaju osnowy na kinetykę wysychania wierzchniej warstwy masy

Podsumowanie

Wykonane badania kinetyki wysychania wilgotnej masy bentonitowej w stanie zagęszczonym, a więc takim jaki występuje w formie wykazały, iż obok temperatury masy istotny wpływ wywiera stopień zagęszczenia masy. Badania wykonywano w warstwie masy o grubości 5,0mm, co odpowiada przypowierzchniowej warstwie masy poddawanej najbardziej intensywnemu oddziaływaniu ciepła oddawanego przez ciekły metal podczas zalewania. Jest to również ta warstwa, która najszybciej traci wodę w kontakcie z suchym i ciepłym powietrzem lub w wyniku parowania wtedy, gdy do formowania zostanie użyta zbyt „gorąca” masa.

Analizując wpływ temperatury masy stwierdzono, iż temperatura zbliżona do 50°C jest to graniczną temperaturą, po przekroczeniu której proces wysychania (obsychania) zdecydowanie zwiększa szybkość. Obserwuje się wtedy takie efekty jak: skrócenia czasookresu, w którym narasta szybkość parowania, zdecydowanie zwiększa się wartość maksymalnej szybkości wysychania jak również wyraźnie skraca się czas „wyhamowania” i praktycznie zakończenia procesu utraty wilgoci.

Szybkemu wysychaniu masy sprzyja słabe jej zagęszczenia w warstwie przypowierzchniowej. Mniejsze znaczenia, przy stałym zagęszczeniu ma wielkość ziaren osnowy kwarcowej. Wysoka temperatura masy pogarsza ($T > 45-50^{\circ}\text{C}$) nie tylko jej właściwości reologiczne i utrudnia uzyskanie wysokiej wytrzymałości [3-7], ale zdecydowanie przyspiesza obsychanie zwiększając skłonność do zapiaszczeń odlewów.

Literatura

- [1] Lewandowski J.L.: „Wpływ pola styku ziarn na wytrzymałość syntetycznych mas formierskich w stanie wilgotnym oraz anizotropia właściwości wytrzymałościowych”. Zeszyty Naukowe AGH, Rozprawy, 1063, nr 18.
- [2] Lewandowski J. L.: Tworzywa na formy odlewnicze, Wyd. Akapit, Kraków 1997.
- [3] Malkin A. JU.: „Rheology Fundamentals” ChemTec Publishing, Canada (1994).
- [4] Howard A. Barnes : „Thixotropy-a review” , J. Non-Newt. Mech., 70 (1997) s.1-33.
- [5] Zych J.: „Thixotropie von Bentonitpasten und Nassformsanden – Ultraschalluntersuchungen”, Giessereiforschung. 2005. Nr 3 s. 42-47.
- [6] Zych J.: ”Synteza zastosowań techniki ultradźwiękowej w analizie kinetyki wybranych procesów zachodzących w tworzywach formierskich”; AGH Kraków (2007), Rozprawy Monografie 163, ISSN 0867-6631.
- [7] Zych J. : “The optimum temperature of bentonite moulding sands in relation to the rheological properties of water-clay systems” Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostravačíslo 1, rok 2009, ročník LII, řada hutnická článek č. XXXX

PRZESTRZENNY MODEL STACJI PRZEROBU MAS FORMIERSKICH NA PRZYKŁADZIE SPM-160

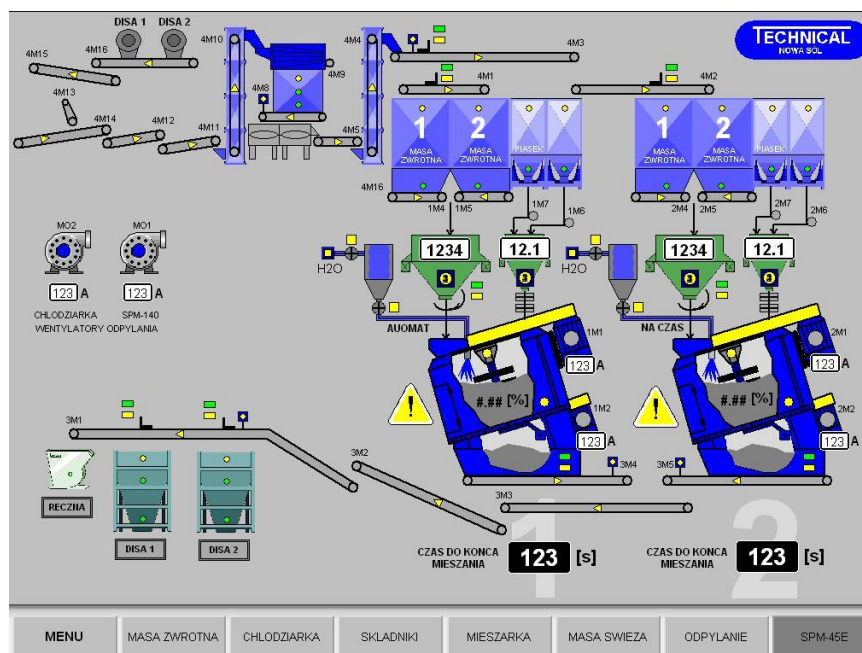
Andrzej MANORYK ¹
Ireneusz SZULC ²
Paweł BRATUŚ ³

Wychodząc naprzeciw wymaganiom inwestorów, a także w celu zwiększenia konkurencyjności, przedsiębiorstwo P.P.P. TECHNICAL wdrożyło do pracowni konstrukcyjnej zaawansowany program bryłowy firmy AUTODESK INVENTOR. Wykorzystanie programów CAD pozwala na projektowanie konstrukcji inżynierskich w sposób szybki i zoptymalizowany. Dzięki zastosowaniu modelera bryłowego inżynierowie mają łatwiejszy dostęp do zasobów bibliotek, modułów obliczeniowych i wizualizacyjnych.

Wieloletnie doświadczenia firmy Technical i tworzenie w ostatnim czasie dokumentacji bryłowej pojedynczych urządzeń wchodzących w skład SPM pozwolił zrealizować gotowy obiekt o wydajności 160t/h.

Przemysł odlewniczy jest przykładem branży inżynierskiej, w której współpracujące ze sobą w określony sposób maszyny znajdują się, w większości przypadków, we względnie niewielkiej odległości, co czyni linie technologiczne obiektami o zwartej strukturze. Jest to spowodowane dążeniem do minimalizacji pola powierzchni, zajmowanego przez obiekt.

Dla zobrazowania powiązań logicznych maszyn i urządzeń wchodzących w skład SPM przedstawiono poniżej schemat technologiczny, który zarazem jest ekranem wizualizacyjnym panelu sterowniczego.



Rys.1 Schemat technologiczny SPM-160

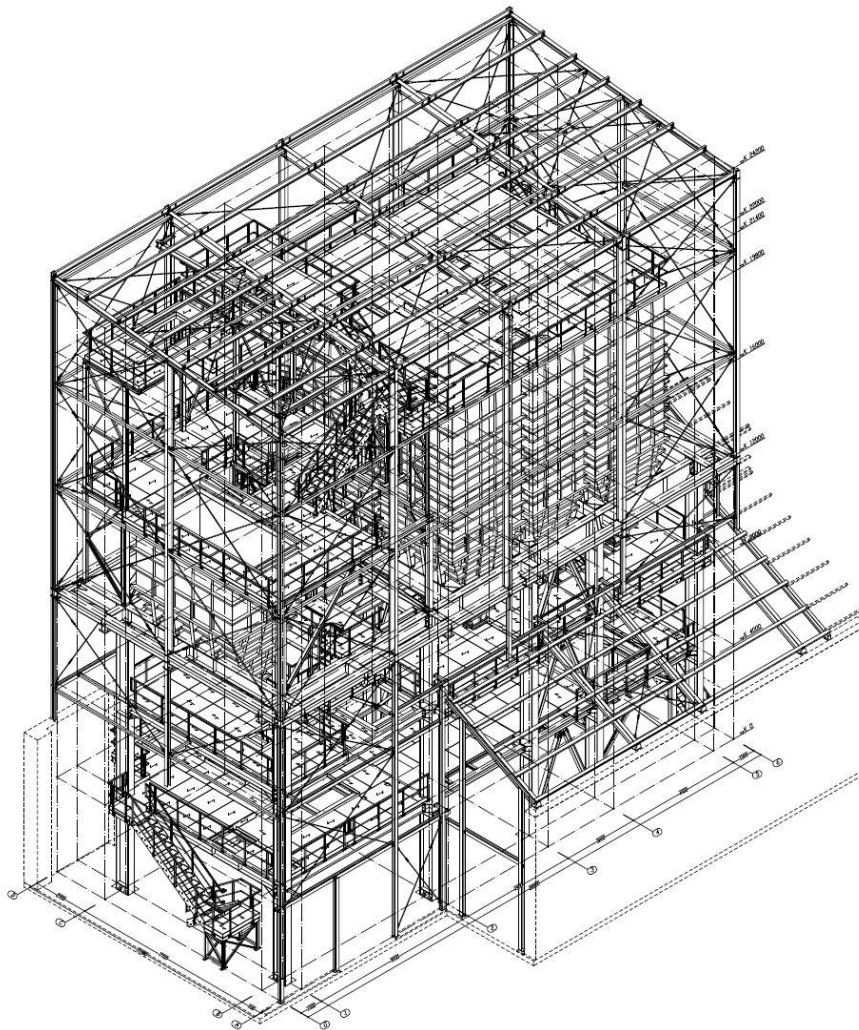
¹ mgr inż., P.P.P TECHNICAL, 67-100 NOWA SÓL, ul. Zielonogórska 1A; a.manoryk@technical.pl

² mgr inż., P.P.P TECHNICAL, 67-100 NOWA SÓL, ul. Zielonogórska 1A; i.szulc@technical.pl

³ mgr inż., P.P.P TECHNICAL, 67-100 NOWA SÓL, ul. Zielonogórska 1A; p.bratus@technical.pl

Elementem spinającym wszystkie maszyny i urządzenia wchodzące w skład SPM jest konstrukcja nośna. Stanowi ona o głównych gabarytach inwestycji. Konstrukcja nośna może być również przystosowana do obłożenia swoich zewnętrznych powierzchni płytami izolacyjnymi. Wówczas staje się ona samodzielnym budynkiem stacji przerobu mas.

Do budowy SPM wykorzystano model bryłowy konstrukcji hali stworzony za pomocą programu bryłowego BOCAD. Jest to program przeznaczony do budowy różnego rodzaju przestrzennych konstrukcji stalowych. Większość modeli cyfrowych stworzonych w różnych programach bryłowych umożliwia sprowadzenie ich do formatów przeznaczonych do współpracy z AUTODESK INVENTOR.

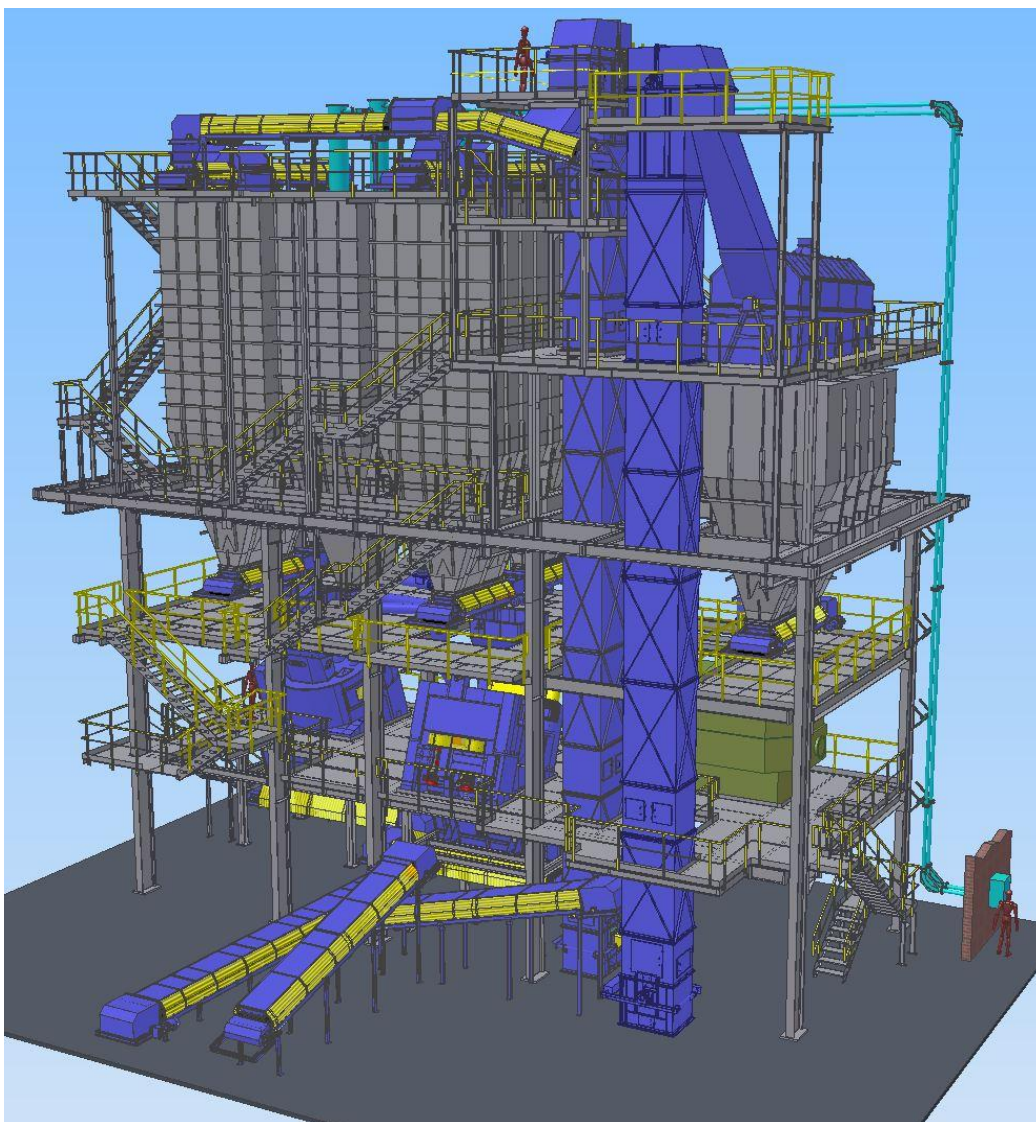


Rys.2 Konstrukcja hali wykonana za pomocą programu BOCAD

Wykonanie wszystkich elementów ciągu technologicznego i rozmieszczenie ich w docelowych miejscach pozwala na zapoznanie się z funkcjonalnością linii na etapie projektu cyfrowego. Wirtualny spacer po konstrukcji pozwala w łatwy sposób na zapoznanie się z rozmieszczeniem poszczególnych urządzeń linii. Przy zastosowaniu technik audio wizualnych pozwala to na prezentację wstępnych rozwiązań całej grupie projektowej w sposób jednoznacznie zrozumiały, co niezwłocznie pozwala na wyrażenie swoich uwag i spostrzeżeń. Dzięki temu skraca się czas projektowania a ewentualne zmiany są wprowadzane szybko i dzięki parametryzacji z mniejszą ilością błędów w porównaniu do technik klasycznych.

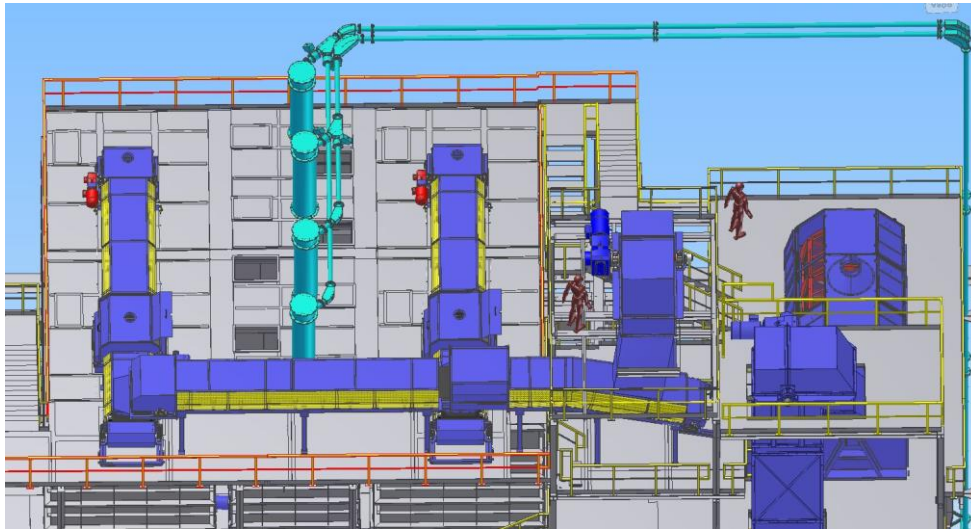
Jak już zauważono na wstępie do stworzenia modelu stacji przerobu mas wykorzystano model bryłowy, który posłużył jako baza do lokalizacji poszczególnych maszyn i urządzeń.

Obieg masy w SPM zaczyna się w miejscu gdzie masa wybita trafia na pierwszy przenośnik tworzący SPM. Przenośnik ten dostarcza masę do elewatora, który transportuje ją do przesiewacza obrotowego. Pod przesiewaczem znajduje się zbiornik masy gorącej. Masa gorąca za pomocą przenośnika rewersyjnego dostarczana jest do chłodziarki.



Rys.3 Model bryłowy SPM-160 wykonany za pomocą programu AUTODESK INVENTOR

Schłodzona masa dostarczana jest przenośnikami taśmowymi do drugiego elewatora, który transportuje ją na najwyższy poziom konstrukcji, gdzie jest dystrybuowana do poszczególnych zbiorników magazynowych.



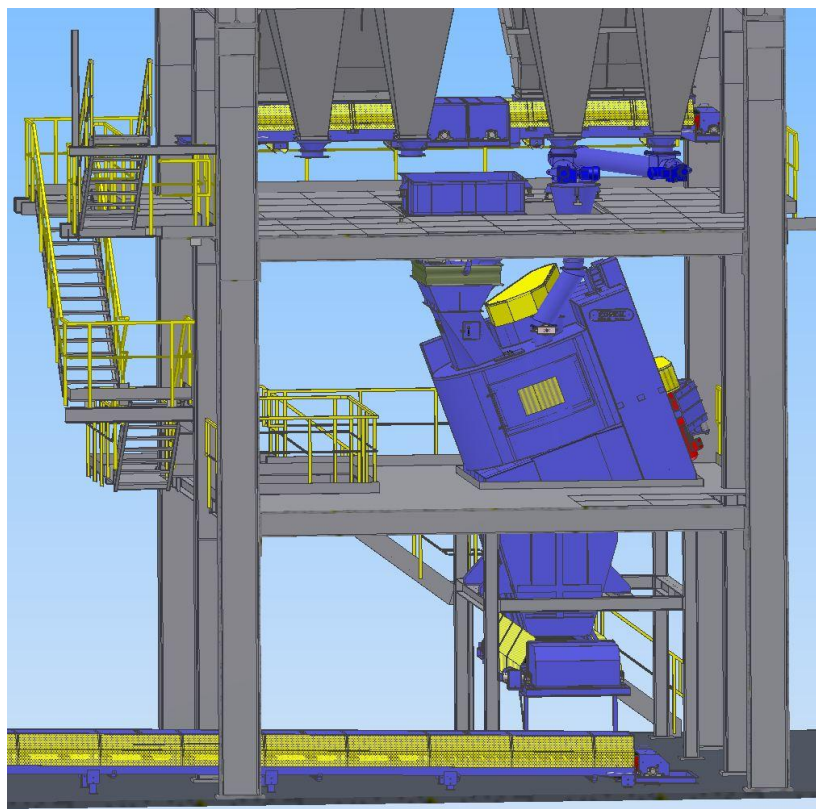
Rys.4 Dystrybucja masy do zbiorników magazynowych

Masa transportowana jest ze zbiorników za pomocą dozowników taśmowych do wag tensometrycznych masy (dwa gniazda sporządzania masy), a następnie po odmierzeniu żądanej partii materiału dostarczana jest do mieszarek turbinowych. W sąsiedztwie zbiorników magazynowych masy zwrotnej znajdują się również zbiorniki dodatków tzn. piasku i mieszanki bentonitowej. Ich napełnianie odbywa się za pomocą linii przesyłowej zasilanej bezpośrednio z transportu pneumatycznego samochodu cysterny.

Mieszanka bentonitowa i piasek świeży dozowane są przenośnikami śrubowymi do wag tensometrycznych dodatków.

Sporządzanie masy odbywa się w mieszarkach turbinowych zlokalizowanych na poziomie pośrednim. Poniżej tego poziomu znajdują się kosze wysypowe magazynujące całą porcję masy.

Wytworzona masa wybierana jest z koszów wysypowych za pomocą dozownika wybierającego i dostarczana jest zespołem przenośników taśmowych nad poszczególne stanowiska formowania.



Rys.5 Stanowisko sporządzania masy

Tworzenie modelu bryłowego Stacji Przerobu Mas można podzielić na cztery główne etapy:

- Pierwszym z nich jest konstrukcja hali (SPM) w skład której wchodzi konstrukcje wsporcze wraz ze zbiornikami i ciągami komunikacyjnymi. Jest to etap całkowicie indywidualny uzależniony od możliwości przestrzennych inwestora. Prace projektowe na tym etapie trwają najdłużej. Większość założeń, a także pierwsze szkice powstają w układzie 2D.
- Drugi etap to lokalizacja maszyny i urządzeń takich jak: przesiewacze obrotowe, mieszarki, wagi, zgarniacze, które bez żadnych modyfikacji mogą być „wstawiane” w kolejnych projektach. Powstały wcześniej jako maszyny typowe i stanowią „bibliotekę” do kolejnych projektów.
- Trzeci etap to połączenie wszystkich urządzeń logicznymi ciągami transportowymi takimi jak: przenośniki taśmowe, dozowniki śrubowe czy elewatory. Jest to etap, w którym wykorzystujemy gotowe już moduły poszczególnych urządzeń, składając je w całość przystosowując ich gabaryty (głównie długość, lub wysokość) do istniejącego środowiska. Stąd też konieczne jest dążenie do zapewnienia możliwie największego stopnia parametryzacji tych elementów obiektu.
- Ostatni etap to elementy pomocnicze takie jak: instalacja odpylania, transport pneumatyczny czy instalacja elektryczna itp. Pełna wizualizacja dokładnie obrazująca położenie wszystkich maszyn i urządzeń względem siebie, pozwala na optymalne prowadzenie tras poszczególnych instalacji, a przy tym zdecydowanie ogranicza powstawanie różnego rodzaju kolizji.

Podsumowując powyższe możemy stwierdzić, że projekt przestrzenny pozwala na pełną i szybką weryfikację głównych założeń konstrukcyjnych takich jak: gabaryty zewnętrzne, miejsca obsługowe poszczególnych urządzeń, ciągi komunikacyjne, ciągi transportowe itp. Projekt taki pozwala również na wykonanie oceny wdrożonych rozwiązań, odnalezienie słabych punktów projektu, optymalizację kosztów itp. Modele bryłowe kompletnych linii technologicznych znacznie ułatwiają tworzenie dokumentacji wykonawczej płaskiej, gdzie różnego rodzaju kolizje są eliminowane w momencie lokalizacji maszyn, urządzeń czy konstrukcji na obiekcie.

NOWOCZESNY SYSTEM ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ MASY FORMIERSKIEJ

Waldemar BOJANOWSKI¹
Piotr WOŹNIAK²

Wstęp

Przygotowania masy formierskiej o wysokich i stabilnych parametrach ma bardzo duże znaczenia w produkcji odlewów. Do prawidłowego i optymalnego przebiegu procesu przygotowania masy potrzebna jest jego ciągła i pełna kontrola oraz analiza niezbędnych parametrów. Odpowiednio zaprojektowany i skonfigurowany układ sterowania, wyposażony w urządzenia kontrolne, pomiarowe i regulacyjne może pełnić funkcję systemu zarządzania jakością masy formierskiej.

Firma Technical, wyposażając stacje przerobu mas w systemy zarządzania jakością masy, wykorzystuje własne rozwiązania jak i produkty renomowanych firm światowych. Wśród nich dominują urządzenia niemieckiej firmy Michenfelder Elektrotechnik GmbH & Co KG. Urządzenia te zainstalowane w odpowiednich miejscach systemu monitorują przebieg procesu przerobu mas i regulują podstawowe własności masy formierskiej, wśród których możemy wyszczególnić wilgotność oraz zagęszczalność masy.

Do automatycznego pomiaru i regulacji parametrów masy formierskiej w stacji przerobu mas firma MICHNENFELDER-Niemcy oferuje najnowocześniejsze systemy kontrolno-pomiarowe:

- system MICOMP UNI Typ G-FBK do automatycznego ciągłego pomiaru i ciągłej regulacji wilgotności masy formierskiej w chłodziarce wibrofluidyzacyjnej; system gwarantuje uzyskanie dokładności wilgotności masy formierskiej na wyjściu z chłodziarki z tolerancją: $\pm 0,2\%$ H₂O;
- system MICOMP UNI typ G-CH do automatycznego ciągłego pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej w mieszarce turbinowej; system gwarantuje uzyskanie wilgotności masy formierskiej na wyjściu z mieszarki z tolerancją: $\pm 0,1\%$ H₂O,
- system VEDIMAT-4 do automatycznego pomiaru i regulacji parametrów masy formierskiej; system gwarantuje uzyskanie stopnia zagęszczalności masy na stanowisku formierskim z tolerancją: $\pm 2\%$ od wartości zadanej.
- system MiPro do wizualizacji procesów regulacji parametrów masy.

Dodatkowo własne rozwiązania firmy Technical zapewniają m in:

- dokładne naważanie poszczególnych składników świeżej masy formierskiej za pośrednictwem nowoczesnego systemu wag tensometrycznych,
- monitoring prądów pobieranych przez poszczególne napędy biorące udział w procesie mieszania masy,

1. Pomiar i regulacja parametrów masy w chłodziarce wibrofluidyzacyjnej

W procesie przygotowania masy formierskiej ważne jest, aby masa zwrotna (wybita), magazynowana w zbiornikach buforowych była odpylona, schłodzona i wstępnie

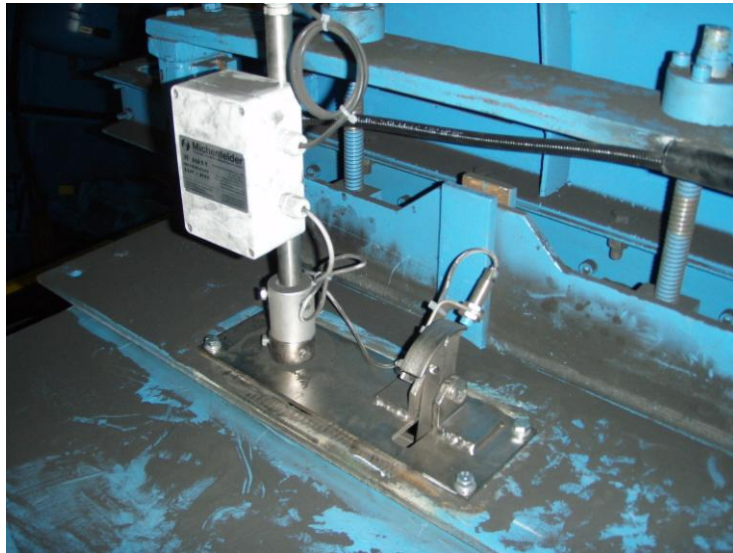
¹ inż. Kierownik Pracowni Automatyki TECHNICAL, w.bojanowski@technical.com.pl

² mgr inż. konstruktor automatyk TECHNICAL, p.wozniak@technical.com.pl

nawilżona. Można to uzyskać instalując w obiegu chłodziarkę wibrofluidyzacyjną z zainstalowanym systemem MICOMP UNI Typ G-FBK.

Zainstalowanie chłodziarki wibrofluidyzacyjnej pozwala nie tylko na schłodzenie i wstępne nawilżenie masy, ale również na zredukowanie substancji pylistych szkodliwych z punktu widzenia właściwości masy formierskiej.

- Na przenośniku taśmowym podającym w sposób ciągły masę do chłodziarki zainstalowana jest specjalna sonda dokonująca pomiaru temperatury masy.



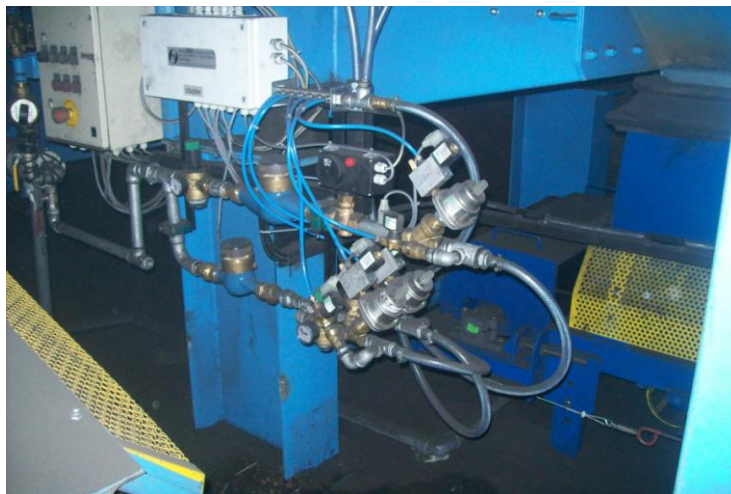
Rys. 1. Pomiar temperatury masy zwrotnej przed chłodziarką.

- Na przenośniku taśmowym odbierającym masę z chłodziarki zainstalowana jest aparatura kontrolująca temperaturę i wilgotność masy na wyjściu z chłodziarki.



Rys. 2. Pomiar temperatury i wilgotności masy zwrotnej za chłodziarką.

- Zainstalowany dedykowany system dozuje odpowiednią ilość wody w celu obniżenia temperatury masy z utrzymania jej stałej wilgotności.



Rys. 3. Zespół zawodów dozujących wodę do chłodziarki.

- System gwarantuje uzyskanie dokładności wilgotności masy formierskiej na wyjściu z chłodziarki z tolerancją: $\pm 0,2\%$ H₂O;

Odpowiednio wczesne nawilżenie masy do wilgotności około 1,8% – 2,4 % powoduje hydratazację bentonitu zawartego w masie podczas jej „leżakowania” w zbiornikach buforowych.

2. Pomiar i regulacja wilgotności masy w mieszarce turbinowej

Zainstalowany w mieszarce turbinowej system MICOMP UNI typ G-CH dokonuje za pomocą specjalnej sondy ciągłego pomiaru wilgotności masy podczas całego cyklu mieszania. Rozwiązanie to jest unikalne na skalę światową. Żaden inny system pomiaru i regulacji wilgotności nie bazuje na ciągłym pomiarze wilgotności masy bezpośrednio w mieszarce.



Rys. 4. Sonda pomiarowa wilgotności zamontowana w mieszarce.

- W zainstalowanym nad mieszarką zbiorniku przygotowane jest około 80% wymaganej ilości wody, jaką należy zadozować do mieszarki, aby otrzymać masę gotową o zadanej wilgotności. Ta ilość wody obliczana jest z poprzedniego cyklu mieszania.



Rys. 5. Układ dozowania wody do mieszarki.

- Podczas załadunku masy do mieszarki podawana jest również przygotowana wcześniej woda.
- Po wstępnym wymieszaniu masy i jej ujednorodnieniu dozowana jest reszta wody niezbędna do osiągnięcia zadanej wilgotności.
- Po stwierdzeniu przez system, że masa jest homogenna następuje rozładunek mieszarki.
- System gwarantuje uzyskanie wilgotności masy formierskiej na wyjściu z mieszarki z tolerancją: $\pm 0,1\% \text{ H}_2\text{O}$.

3. Pomiar i regulacja parametrów masy formierskiej

Często, w zależności od zainstalowanego rodzaju maszyny formierskiej, regulacja wilgotności masy wychodzącej z mieszarki jest niewystarczająca. Ważniejszym parametrem jest zagęszczalność masy formierskiej.

Firma MICHENFELDER oferuje system VEDIMAT-4 do automatycznego pomiaru i regulacji parametrów masy formierskiej takich, jak zagęszczalność i wytrzymałość na ściskanie.



Rys. 6. System pomiaru parametrów masy VEDIMAT-4 zainstalowany na przenośniku taśmowym.

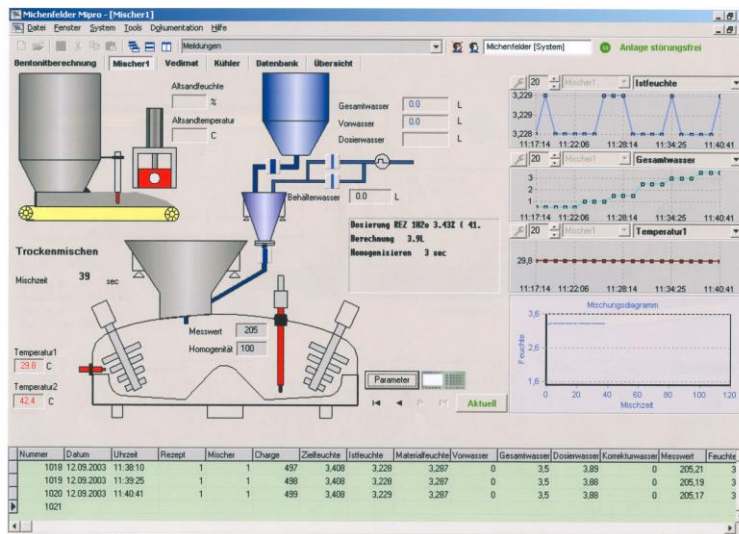
System VEDIMAT-4 automatycznie kontroluje i reguluje zagęszczalność oraz wytrzymałość na ściskanie masy formierskiej bezpośrednio przed stanowiskiem formierskim. System pobiera próbki masy formierskiej z przenośnika taśmowego przed stanowiskiem formierskim. Po sprawdzeniu parametrów masy we współpracy z urządzeniem MICOMP UNI G-CH do pomiaru i regulacji wilgotności masy w mieszarce odpowiednio dostosowuje wilgotność kolejnej porcji masy formierskiej, tak aby utrzymać w narzuconym zakresie jej właściwości.

System VEDIMAT-4 może współpracować z systemem wizualizacji MiPro. Możliwa jest wtedy regulacja zagęszczalności nie tylko poprzez zmianę wilgotności masy, ale również poprzez korygowanie ilości dozowanego bentonitu do masy.

System gwarantuje uzyskanie stopnia zagęszczalności masy bezpośrednio przed stanowiskiem formierskim z tolerancją: $\pm 2\%$ od wartości zadanej.

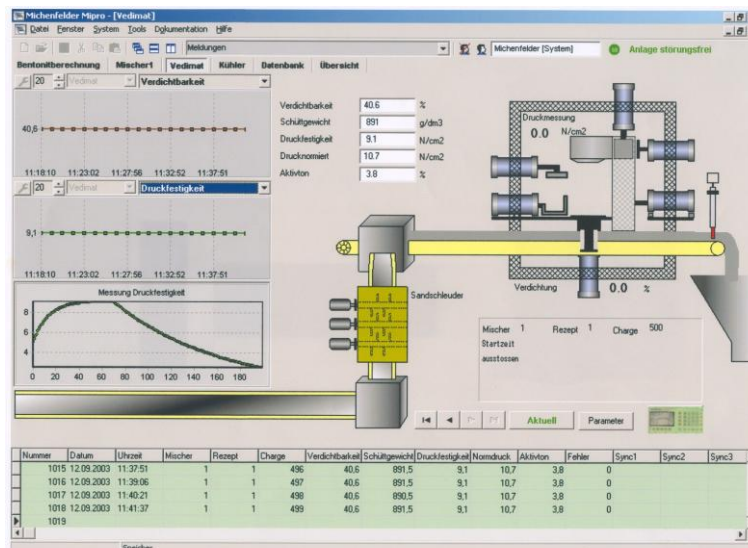
4. System wizualizacji MiPro

System wizualizacji procesu przygotowania masy formierskiej MiPro jest specjalistycznym dedykowanym oprogramowaniem do integracji poszczególnych systemów pomiarowo – regulacyjnych. Za jego pomocą możliwa jest wizualizacja na ekranie monitora wszystkich mierzonych i regulowanych parametrów masy w formie tabelarycznej lub za pomocą wykresów.



Rys. 7. System wizualizacji procesu MiPro. Zakładka przygotowana dla mieszarki.

Wizualizowane są dane bieżące jak i archiwalne, co umożliwia w prosty i szybki sposób ich porównanie.



Rys. 8. System wizualizacji procesu MiPro. Zakładka VEDIMAT-4.

System MiPro umożliwia we współpracy z systemem VEDIMAT-4 obliczanie zawartości aktywnego bentonitu w masie formierskiej.

5. Naważanie składników

W celu dokładnego zadozowania składników do mieszarki układ wyposażony jest w nowoczesny system wag tensometrycznych. Odpowiednio zaprojektowane zbiorniki wagowe w połączeniu z optymalnym algorytmem automatycznego naważania pozwala na uzyskanie wysokich dokładności ważenia. Główne składniki świeżej masy formierskiej naważane są z dokładnością kilku kilogramów. Składniki dodatkowe, takie jak bentonit, pył węglowy czy mieszanka bentonitowa naważane są z dokładnością dziesiątych części kilograma.



Rys. 8. System wag tensometrycznych.

Dokładne ważenie składników masy formierskiej w połączeniu z pomiarem wilgotności masy w mieszarce i odpowiednim dozowaniem wody zapewnia otrzymanie świeżej masy formierskiej o optymalnych i stabilnych parametrach.

6. Monitoring prądów

Zastosowanie w układzie sterowania stacji przerobu mas systemu monitoringu prądów pobieranych przez mieszarkę ma na celu nie tylko oszacowanie zużycia energii elektrycznej. Dokładniejsza analiza wykresów prądowych pozwala zaobserwować wpływ wilgotności masy formierskiej i jej jednorodności na obciążenia poszczególnych napędów. Porównując wykres wilgotności masy do wykresów prądowych pozwala zauważyć pewną analogię. Kształty wykresów są do siebie podobne. Rysunek 9 przedstawia porównanie wielkości wilgotności masy i obciążeń prądowych napędów podczas mieszania jednej porcji w mieszarce turbinowej produkcji Technical MTI-3000.



Rys. 9. Wpływ wilgotności i jednorodności masy na obciążenia napędów elementów mieszających w mieszarce.

Podsumowanie

Tak ważny proces jak przygotowanie masy formierskiej wymaga zastosowania najnowocześniejszych urządzeń. Gwarantują one odpowiednie jej przygotowanie. Wyposażając dodatkowo te urządzenia w odpowiednie systemy pomiarowo – regulacyjne, można zapewnić wysokie i stabilne parametry technologiczne masy formierskiej każdorazowo dostosowując je do produkowanego asortymentu odlewów, stopnia przepalenia masy zwrotnej czy rodzaju zastosowanych dodatków. Takie systemy oferuje firma Technical wspólnie z firmą Michenfelder. Odpowiednia ich konfiguracja tworzy system zarządzania jakością masy formierskiej.

Wyposażenie urządzeń stacji SPM w systemy monitorujące przebieg pracy oraz system zarządzania jakością masy formierskiej stwarza warunki dla właściwej i bezawaryjnej eksploatacji.

Literatura

- [1] Manfred Michenfelder – Kompleksowa kontrola jakości masy formierskiej - VII KONFERENCJA ODLEWNICZA TECHNICAL 2004
- [2] Manfred Michenfelder – Innowacyjny system zarządzania przygotowaniem masy formierskiej - X KONFERENCJA ODLEWNICZA TECHNICAL 2007
- [3] Karty katalogowe firmy Technical
- [4] Strona internetowa www.michenfelder.com
- [5] Strona internetowa www.technical.com.pl

REGENEROWALNOŚĆ MASY ZUŻYTEJ ZE SZKŁEM WODNYM W SYSTEMACH KONWENCJONALNYCH I NIEKONWENCJONALNYCH

Rafał DAŃKO¹

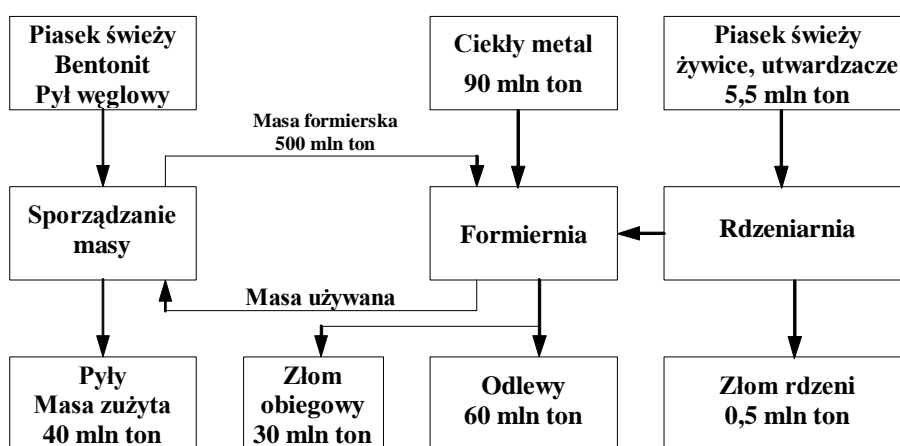
Wstęp

Regeneracja zużytych mas formierskich i rdzeniowych została zdefiniowana jako obróbka zużytych, ogniotrwałych materiałów formierskich, pozwalająca na odzysk co najmniej jednego ze składników o właściwościach zbliżonych do stanu świeżego tego składnika i jego ponowne użycie do wytwarzania form i rdzeni.

Powszechne stosowanie regeneracji obejmuje praktycznie wszystkie zużyte masy z osnową kwarcową i niektóre z osnową chromitową. W masach tak zwanej „nowej generacji”, zawierających chemoutwardzalne materiały wiążące, względ na podatność masy do regeneracji (regenerowalność) jest istotny. Możliwość łatwej regeneracji nowych mas wprowadzanych do odlewnictwa jest wyznacznikiem ich nowoczesności i przemysłowej atrakcyjności, przy czym względy ekonomiczne związane z oszczędnościami przy zakupie świeżego piasku są jednym, wcale nie najbardziej istotnym argumentem motywującym wprowadzenie regeneracji w danej odlewni.

Korzyści wynikające z odzysku i zagospodarowania dużej ilości mas odpadowych dotyczą różnych aspektów funkcjonowania odlewnictwa, spośród których można wyliczyć: ekonomiczne, technologiczne oraz związane z ochroną środowiska naturalnego. O ile dwa pierwsze z wymienionych aspektów mają wymiar lokalny, ważny dla danej odlewni, o tyle trzeci aspekt jest dzisiaj problemem dominującym, postrzeganym w skali globalnej, którego rozwiązywanie może wykraczać poza obszar określonego kraju.

Przedstawiony na rysunku 1 bilans materiałowy światowej produkcji odlewów wyjaśnia szerokie zainteresowanie tematyką odzysku zużytych mas formierskich i rdzeniowych [1-3].



Rys. 1. Przybliżony bilans materiałów używanych w światowej produkcji odlewów ze stopów żelaza [1, 3]

¹ dr inż., Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Inżynierii Procesów Odlewniczych; rd@agh.edu.pl

Analiza danych pochodzących z 20 największych polskich odlewni przeprowadzona w roku 2004 [4] wskazuje, że regeneracji poddaje się w nich średnio 50% odpadów mas formierskich i rdzeniowych, a druga część jest kierowana na wysypiska. Biorąc pod uwagę wszystkie pozostałe odlewnie można szacunkowo podać, że rocznie na wysypiska wywozi się około 250-350 tys. ton masy zużytej.

Analiza wykonana w różnych krajach wskazuje, że udział piasku świeżego wprowadzanego do obiegu waha się od 600 do 1200 kg na tonę odlewów ze stopów żelaza. W Polsce wartość tego wskaźnika wynosi 1000 kg piasku na tonę odlewów [3]. W tej wartości statystycznie około 20% świeżego piasku jest zużywane do produkcji rdzeni, a pozostała ilość jest wykorzystywana do odświeżania masy formierskiej.

Wprowadzenie procesu regeneracji do odlewnictwa jest uzasadnione następującymi czynnikami:

- poprawą gospodarki materiałowej w odlewni przez zmniejszenie zużycia świeżych piasków formierskich, obniżenie kosztów ich zakupu i wyeliminowanie suszenia,
- ograniczeniem nadmiernej eksploatacji złóż nadających się dla odlewnictwa, bardzo ważnym ze względu na wyczerpywanie się zasobów tych surowców,
- ograniczeniem dewastacji krajobrazu przez coraz większe wyrobiska zajmowane przez kopalnie piasku oraz poprawą stanu ochrony środowiska,
- ograniczeniem terenów składowisk zajmowanych przez wysypiska masy zużytej,
- przenikaniem substancji toksycznych z wysypisk do środowiska w wyniku ich wymywania przez deszcze,
- wzrostem kosztów opłat za korzystanie z wysypisk, a także zmniejszeniem kosztów eksploatacyjnych i ograniczeniem transportu.

1. Badania regeneracji masy zużytej ze szkłem wodnym

Na Wydziale Odlewnictwa AGH prowadzone są intensywne prace dotyczące problematyki regeneracji mas zużytych. Prowadzone badania i opracowania dotyczą zarówno zagadnień dotyczących konwencjonalnych systemów regeneracji – głównie termicznej i mechanicznej, jak i nowych odmian tych procesów, pozwalających na intensyfikację procesów regeneracji. W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki badań regenerowalności masy zużytej ze szkłem wodnym prowadzonej metodami: regeneracji mechanicznej, regeneracji mokrej i regeneracji mechaniczno-kriogenicznej.

1.1 Przebieg badań

W badaniach realizowano następujące sposoby regeneracji:

1. Mechaniczna, realizowana w urządzeniu przedstawionym na rysunku 1A. Parametry regeneracji: Czas regeneracji 3 min, 5 min, 10 min, 15 min - **R1-SW**.
2. Mechaniczna w obniżonej temperaturze realizowana w urządzeniu przedstawionym na rysunku 1A. Parametry regeneracji: czas 3 min, 5 min, 10 min, 15 min - regenerat **R2-SW**.
3. Mokra w obniżonej temperaturze realizowana w urządzeniu doświadczalnym przedstawionym na rysunku 1B. Parametry regeneracji: Czas regeneracji 3 min, 5 min, 10 min, 15 min – **R3-SW**.

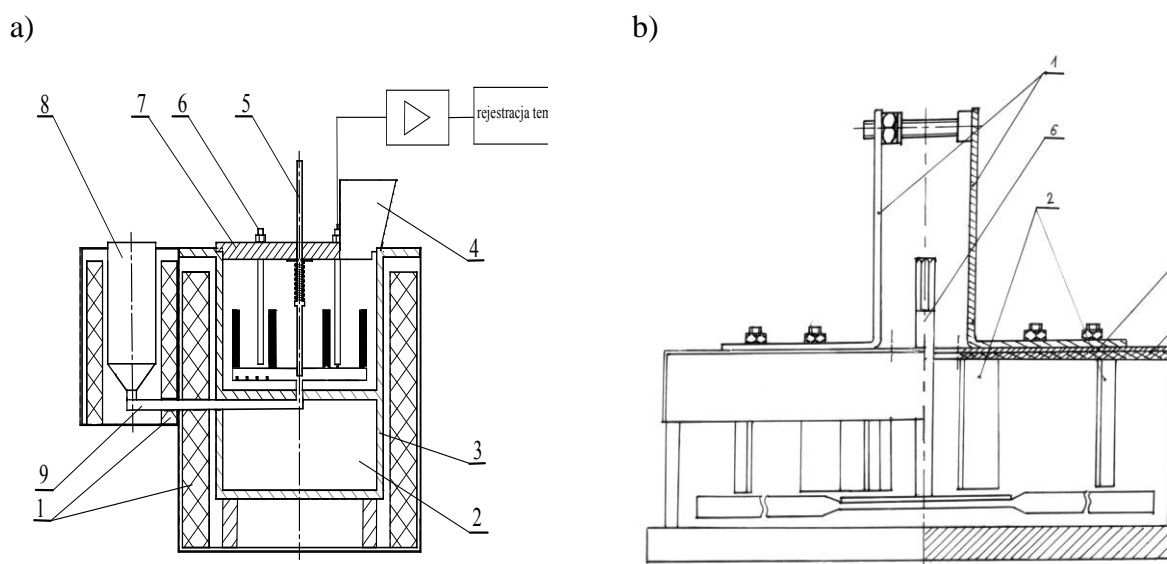
Efekt uwolnienia ziaren osnowy z otoczki zużytego materiału wiążącego oceniano za pomocą następujących prób:

- Zawartości Na_2O w regenerowanej osnowie .
- Odczynu pH oraz wskaźnika Z_k otrzymanego regeneratu.
- Wytrzymałości mas sporządzonych na osnowie regeneratu.
- Morfologii powierzchni regeneratu.

1.2 Stanowiska doświadczalne

Badania regenerowalności badanych mas zużytych przeprowadzono na, istniejących w Wydziale Odlewnictwa AGH, stanowiskach doświadczalnych do prowadzenia procesów:

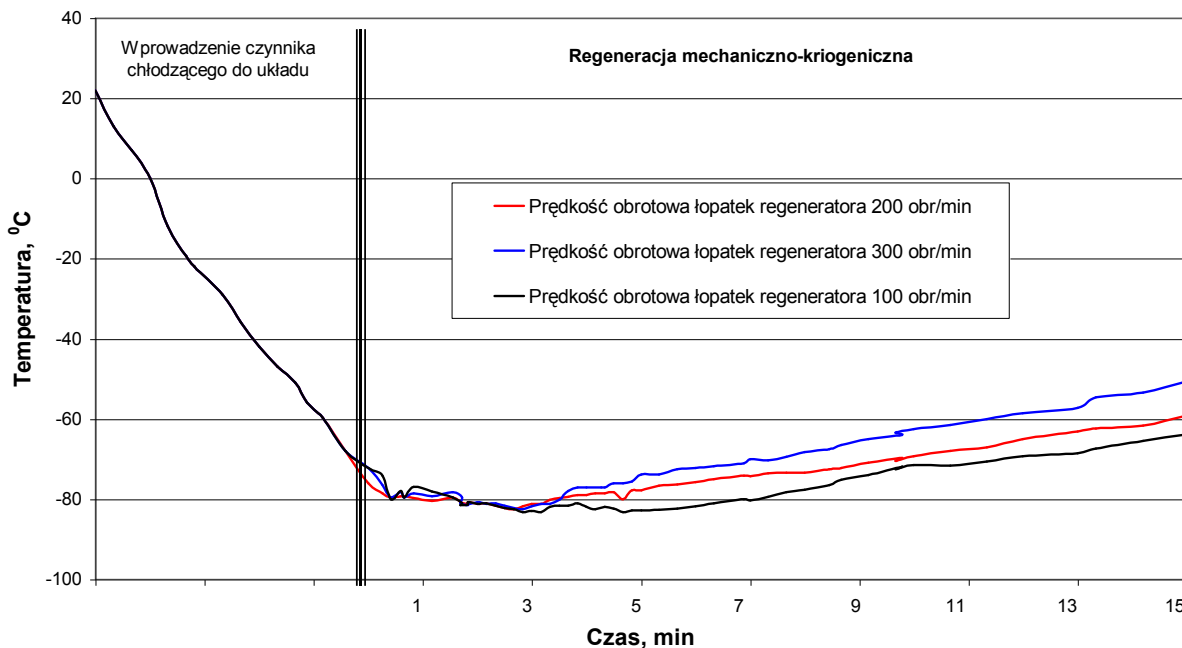
- regeneracji mechanicznej i mechaniczno-kriogenicznej [5]: stanowisko to jest modelem redukcyjnym jednej z odmian regeneratora mechanicznego, wyposażonego w wirujące elementy ściernie. Regenerator doświadczalny (rys. 1a) pozwala na realizację obróbki regeneracyjnej z zastosowaniem, lub bez użycia ciekłego azotu jako czynnika chłodzącego, dzięki czemu istnieje możliwość prowadzenia klasycznej regeneracji mechanicznej (atrycyjnej), lub kombinacji tej regeneracji z niskotemperaturową (kriogeniczną), realizowanych w tym samym urządzeniu. Pozwala to na najbardziej miarodajną analizę porównawczą efektów regeneracji uzyskanych w obu przypadkach..
- regeneracji mokrej [5]: stanowisko doświadczalne (rys. 1 B) działa na zasadzie dezintegracji oraz intensywnego ocierania w środowisku wodnym w zbiorniku regeneratora. Badania regeneracji mokrej przeprowadzono w ograniczonym zakresie, głównie dla celów porównawczych.



Rys. 1. a) Schemat urządzenia doświadczalnego do regeneracji mechanicznej zużytych mas formierskich i rdzeniowych: 1-komora powietrzna, 2-masa regenerowana, 3-obudowa z warstwą izolacyjną, 4-dozownik azotu, 5-wirnik zespołu uderowo-ściernego, 6-czujnik temperatury

b) Schemat urządzenia do regeneracji mokrej: schemat czlonu do obróbki regeneracyjnej w środowisku wodnym: 1-wspornik napędu, 2-listwy dezintegratora, 3-pokrywa górna, 4-wyłożenie gumowe, 5-zbiornik, 6-mieszadło (dezintegrator)

W przypadku prowadzenia procesu regeneracji mechaniczno schładzanie masy regenerowanej do niskiej temperatury. Metoda polega na początkowym schłodzeniu masy w urządzeniu określoną dawką ciekłego azotu, pozwalającą uzyskać temperaturę około minus 80°C , a następnie poddaniu jej mechanicznej regeneracji. Typowe przebiegi temperatury regenerowanego złoza w funkcji czasu obróbki regeneracyjnej przedstawiono na rysunku 2.



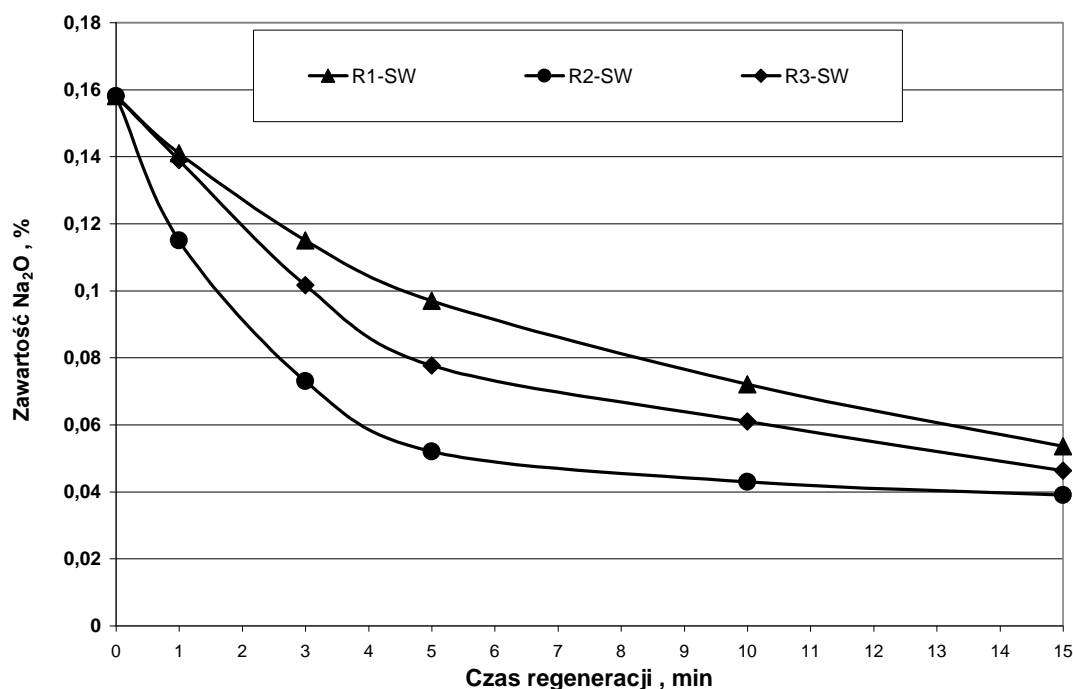
Rys. 2. Typowe przebiegi temperatury masy zużytej w funkcji czasu w urządzeniu do regeneracji mechaniczno-kriogenicznej w zakresie temperatury obróbki od -80°C do -60°C

2. Wyniki przeprowadzonych badań

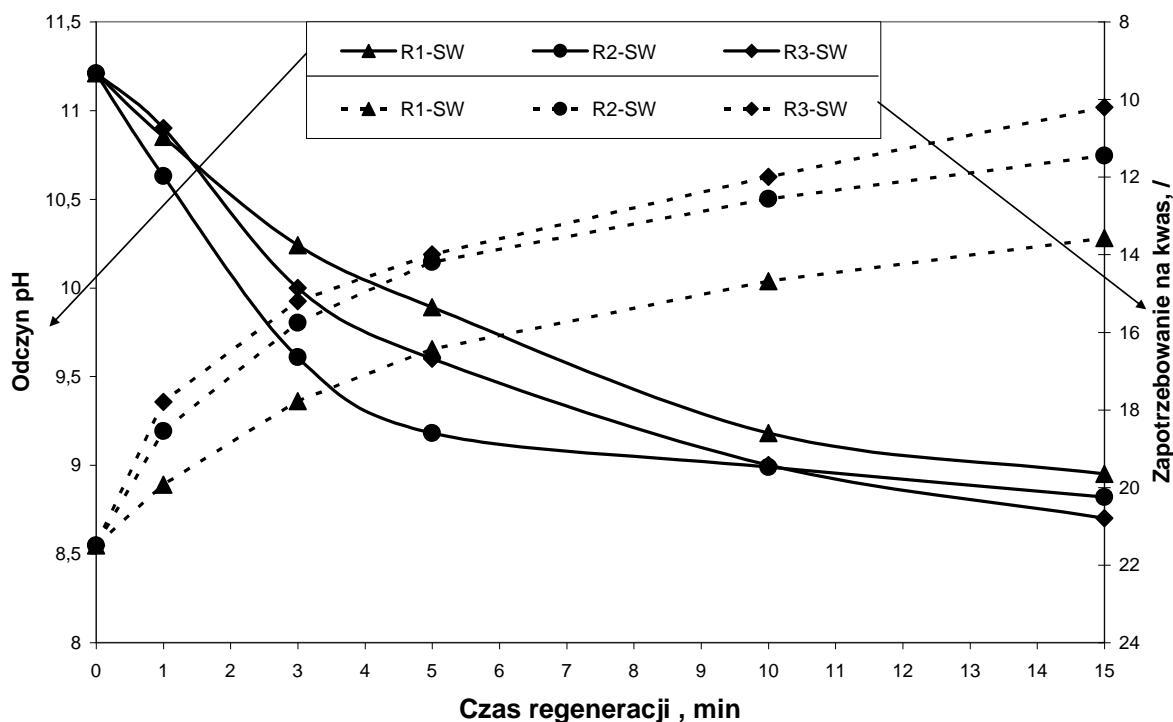
Dane przedstawione na rysunku 3 wskazują, że wydłużenie czasu obróbki regeneracyjnej zużytej masy ze szkłem wodnym, powoduje zmniejszenie wartości wskaźnika, jakim jest wartość Na_2O w zregenerowanej osnowie. Można stwierdzić, że regeneracja mechaniczna prowadzona w temperaturze kriogenicznej, powoduje większy spadek wartości Na_2O , co jest szczególnie widoczne w początkowym okresie trwania procesu regeneracji. W czasie trwania regeneracji, zbliżonym dla obu analizowanych odmian procesu, uzyskuje się korzystniejsze oczyszczenie ziaren osnowy z zużytego materiału wiążącego, w przypadku zastosowania dużego oziębienia masy zużytej przeznaczonej do regeneracji. Po 15 minutach regeneracji wynik zawartości Na_2O w regeneracie po procesie prowadzonym w temperaturze kriogenicznej jest nieco korzystniejszy od efektu uzyskanego w wyniku przeprowadzenia regeneracji mokrej przeprowadzonej w celach porównawczych.

Masa zużyta ze szkłem wodnym charakteryzuje się silnym odczynem zasadowym, co w dużym stopniu przenosi się na otrzymany z niej regenerat. Dane przedstawione na rysunku 4, wskazują, że wartość badanego wskaźnika pH oraz zapotrzebowania kwasu ZK jest korzystniejsza dla regeneracji mechaniczno-kriogenicznej. Można zauważyć, że wraz ze wzrostem stopnia oczyszczenia osnowy i usunięcia otoczki materiału wiążącego z powierzchni ziaren wartości te maleją. W tabeli 1 zamieszczono wyniki badań

wytrzymałości na zginanie R_g^u , które pozwalają stwierdzić, że w przypadku regeneracji mechaniczno-kriogenicznej najlepsze wyniki uzyskuje się po 3 i 5 minutach prowadzenia regeneracji. Niezależnie od tego, można stwierdzić, że im dłuższy jest czas obróbki regeneracyjnej, tym większy jest stopień oczyszczenia ziaren osnowy. Jednocześnie można także zauważyć negatywny wpływ czasu regeneracji mechanicznej na jakość osnowy. Oziębione ziarna osnowy łatwiej ulegają mechanicznej degradacji pod wpływem czynników mechanicznych, ich powierzchnia właściwa wzrasta, co wynika z przeprowadzonej analizy sitowej, a tym samym zwiększa się również ilość spoiwa konieczna do utrzymania na stałym poziomie grubości powłoki materiału wiążącego w masie sporządzanej na osnowie regeneratu.



Rys. 3. Zawartość Na_2O (masa zużyta ze szkłem wodnym) oraz zawartość lepiszcza (masa klasyczna z bentonitem) w funkcji czasu regeneracji.



Rys. 4. Zmiana odczynu pH regeneratu oraz jego zapotrzebowania na kwas w funkcji czasu regeneracji.

Tabela. 1. Wytrzymałość na zginanie (R_g^u) próbek masy wykonanych na osnowie z regeneratu z masy ze szkłem wodnym po różnych czasach regeneracji i czasie odstawiania próbek wynoszącym 1 h, 4 h, 24 h (masa z dodatkiem 3,5 części wagowych szkła wodnego).

Osnowa masy:	Czas odstawiania próbek		
	1	4	24
	[h]	[h]	[h]
Piasek kwarcowy	0,50	1,55	3,23
Masa zużyta ze szkłem wodnym	0,00	0,34	0,93
R3 - SW 1 min	0,00	0,45	1,07
R3 - SW 5 min	0,18	0,92	2,12
R3 - SW 10 min	0,29	1,34	3,07
R3-SW 15 min	0,47	1,53	3,25
R1 - SW 1 min	0,10	0,52	1,19
R1 - SW 5 min	0,25	1,10	2,42
R1 - SW 10 min	0,38	1,51	3,25
R1 - SW 15 min	0,32	1,25	2,61
R3- SW 1 min	0,25	1,03	2,18
R3- SW 5 min	0,42	1,50	3,25
R3 - SW 10 min	0,40	1,26	3,01
R3- SW 15 min	0,32	1,07	2,45

2.1 Badanie morfologii powierzchni zużytej masy z technologii floster oraz regeneratu

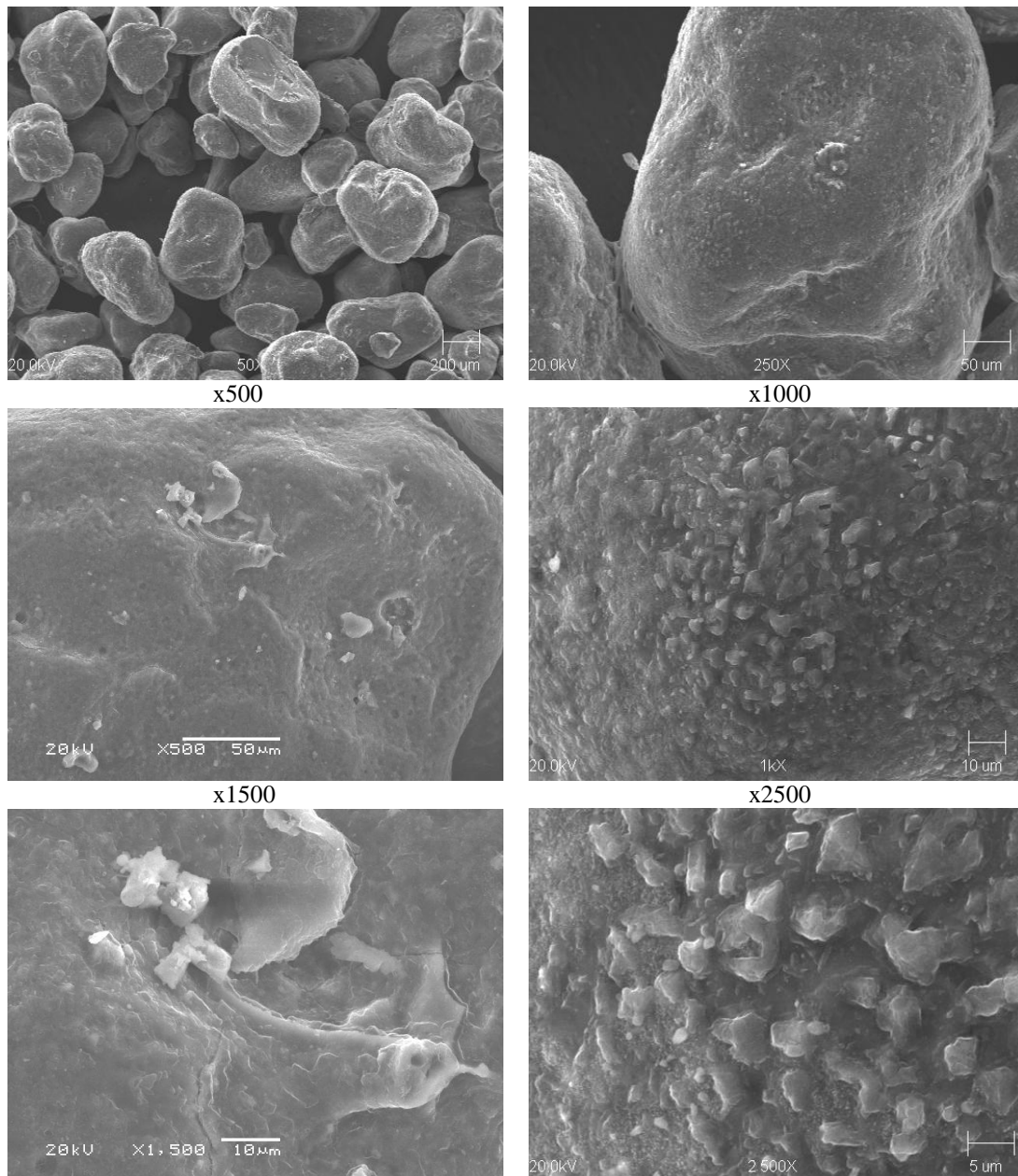
Badanie morfologii powierzchni zużytej masy z technologii floster oraz regeneratu przeprowadzono za pomocą mikroskopu skaningowego. Obrazy z mikroskopu skaningowego to powiększenia widoku ziaren: 50 -, 250 -, 500 -, 1000 -, 1500 - i 2500 - krotne.

Badaniami morfologii powierzchni objęto:

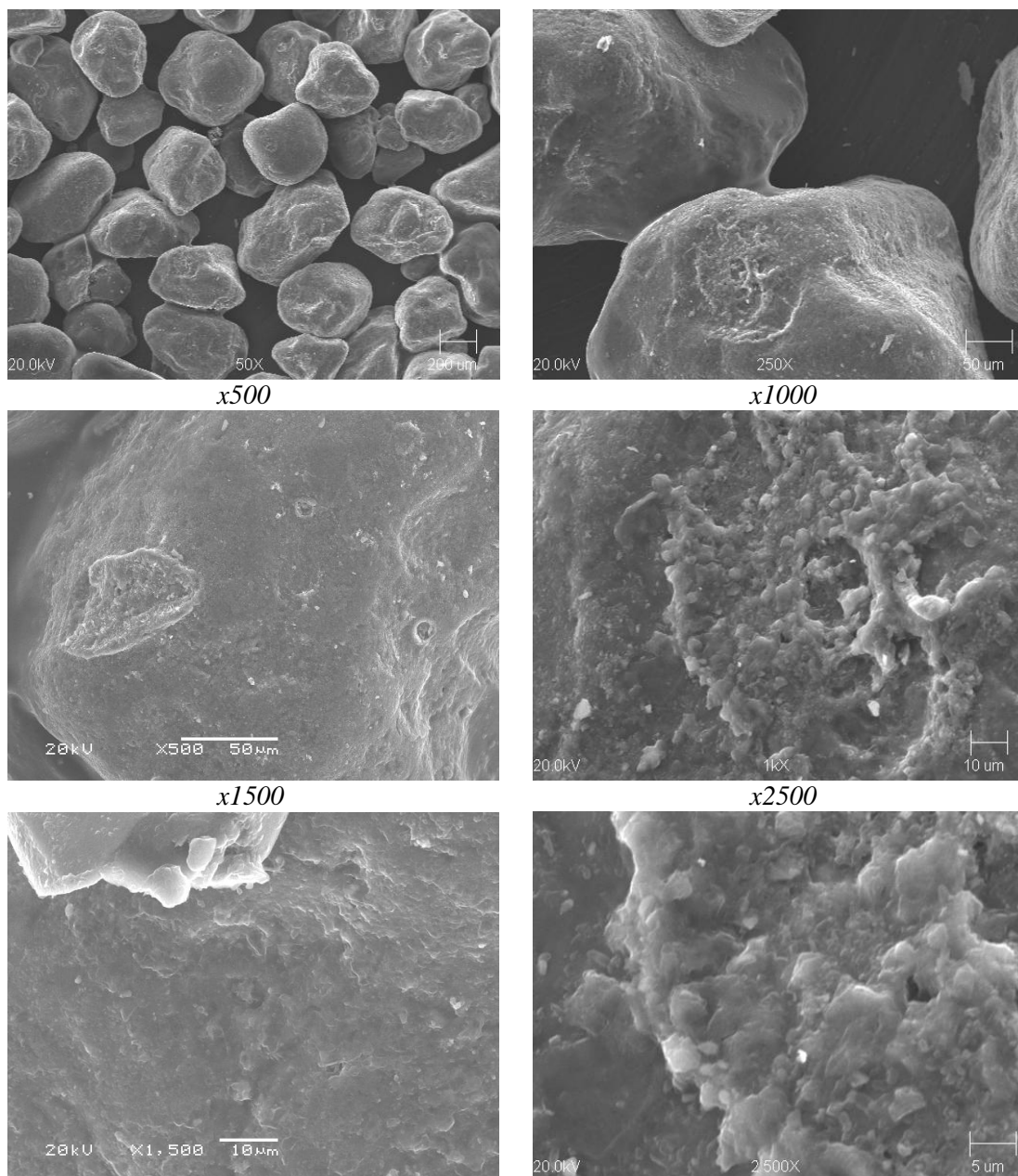
- zużytą masę wyjściową ze szkłem wodnym utwardzanym flodurem (technologia floster), po procesie wstępnego kruszenia, przesianiu przez sito o prześwicie oczka 1,6 mm i klasyfikacji pneumatycznej przy prędkości powietrza $v_{kl} = 1$ m/s (**rys. 5**).
- regenerat otrzymany po 5 minutach obróbki regeneracyjnej mechanicznej prowadzonej przy prędkości obrotowej zespołu wirnika regeneratora $n = 300$ obr/min, poddany klasyfikacji pneumatycznej przy prędkości powietrza $v_{kl} = 1$ m/s (**rys. 6**).
- regenerat po 5 minutach obróbki regeneracyjnej mechaniczno-kriogenicznej prowadzonej przy prędkości obrotowej zespołu wirnika regeneratora $n = 300$ obr/min, poddany klasyfikacji pneumatycznej przy prędkości powietrza $v_{kl} = 1$ m/s (**rys. 7**).

Porównanie stanu początkowego oraz obu odmian obróbki regeneracyjnej w oparciu o wygląd powierzchni regeneratu potwierdza występowanie różnic w stopniu uwolnienia powierzchni od zużytego materiału wiążącego. W stanie wyjściowym widoczne są warstwowe złogi na powierzchniach ziaren. Przy większych powiększeniach można obserwować bardzo chropowate i szorstkie powierzchnie, z charakterystycznymi grudkowatymi wypukłościami o ostrych krawędziach, licznie rozszanymi na powierzchni ziaren.

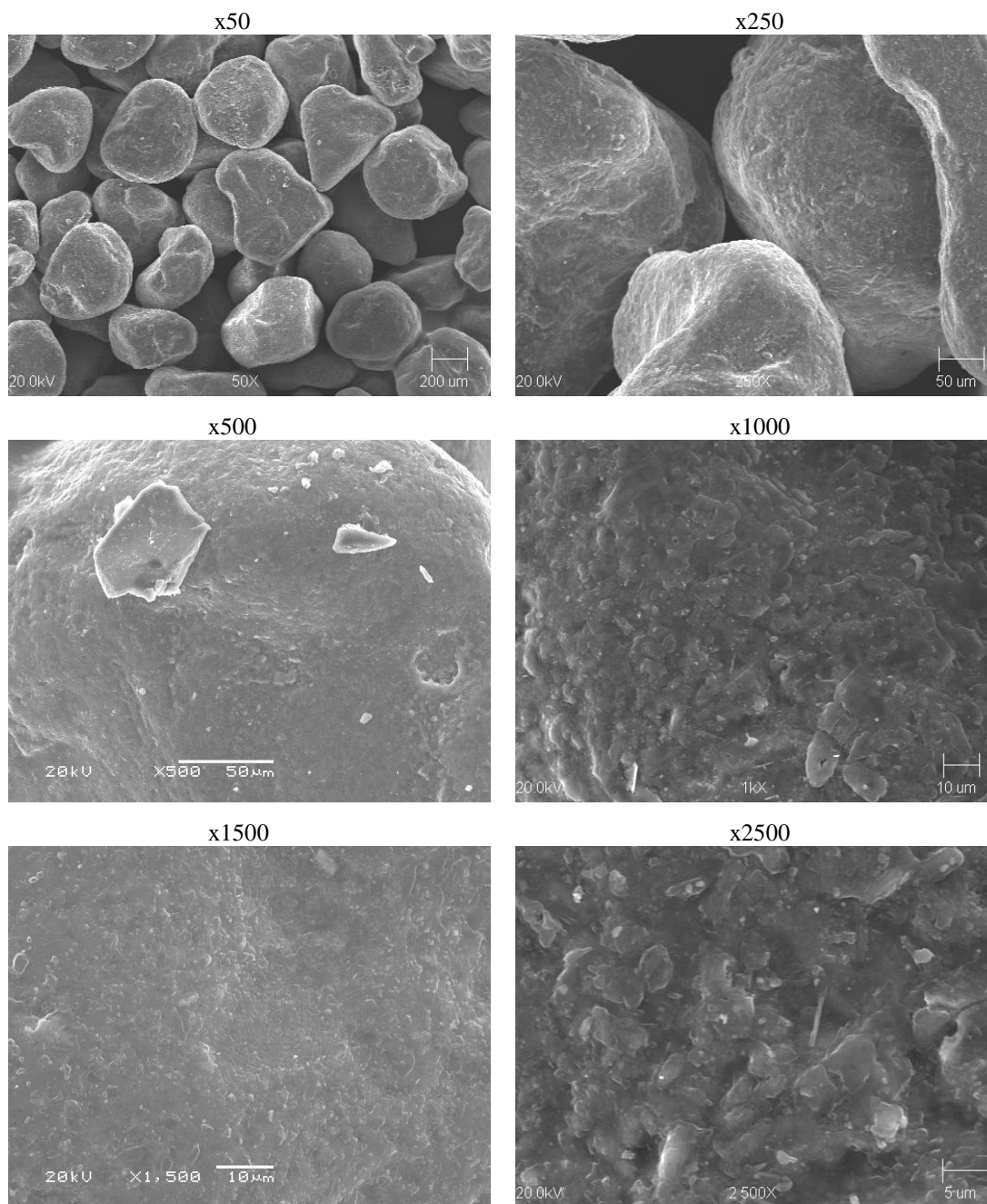
Regeneracja mechaniczna i mechaniczno-kriogeniczna tych wypukłości nie usuwa całkowicie, jednakże prowadzi do mocnego stępienia ich ostrych krawędzi. Ogólny wygląd powierzchni ziaren przy mniejszych powiększeniach wskazuje na postępujący proces wygładzenia i doszlifowywania nierówności pomimo tego, że czas obróbki regeneracyjnej wynosił 5 minut.



Rys. 5. Morfologia powierzchni ziarna masy zużytej z technologii floster po procesie wstępnego kruszenia, przesianiu przez sito o prześwicie oczka 1,6 mm i klasyfikacji pneumatycznej ($v_{kl} = 1 \text{ m/s}$)



Rys. 6. Morfologia powierzchni regeneratu odzyskanego z masy zużytej z technologii floster po regeneracji mechanicznej i klasyfikacji pneumatycznej ($v_{kl} = 1 \text{ m/s}$); prędkość obrotowa zespołu wirnika regeneratora $n = 300 \text{ obr/min}$, $t = 5 \text{ min}$



Rys. 7. Morfologia powierzchni regeneratu uzyskanego z masy zużytej z technologii floster po regeneracji mechaniczno - kriogenicznej i klasyfikacji pneumatycznej ($v_{kl} = 1 \text{ m/s}$); prędkość obrotowa zespołu wirnika regeneratora $n = 300 \text{ obr/min}$, $t = 5 \text{ min}$

Podsumowanie

Porównując uzyskane w tych samych warunkach (prędkość obrotowa wirnika regeneratora 300 obr/min, czas regeneracji 15 min) wyniki spadku zawartości Na_2O w regeneracie kolejno w metodzie regeneracji mokrej, mechanicznej i mechaniczno-kriogenicznej wynoszące odpowiednio: 63% (regeneracja mokra), 67% (regeneracja mechaniczna), 75% (regeneracja mechaniczno-kriogeniczna) można zauważyć, że w przypadku regeneracji mokrej uzyskano najmniej korzystny efekt regeneracji.

Odróżnia to efektywność odzysku osnowy z zużytej masy z technologii floster od przedstawionych wcześniej wyników badań regeneracji masy zużytej z bentonitem, dla której uzyskano następujące spadki zawartości lepiszcza, przy tych samych parametrach przebiegu procesu, wynoszące: 78% (regeneracja mokra), 60% (regeneracja mechaniczna), 75% (regeneracja mechaniczno-kriogeniczna). Badania regenerowalności masy zużytej pochodzącej z technologii floster wykazały zatem, że z punktu widzenia spadku zawartości Na_2O w regeneracji mokrej nie jest najbardziej efektywną metodą jej odzysku. Najbardziej efektywnym sposobem odzysku osnowy jest w tym przypadku regeneracja mechaniczno-kriogeniczna. Ważną, inną zaletą regeneracji mokrej jest praktycznie wyeliminowanie zjawiska kruszenia i niszczenia osnowy, które ma miejsce w przypadku zbyt długiego prowadzenia procesu regeneracji mechanicznej, a szczególnie mechaniczno-kriogenicznej.

Publikacja zrealizowana w ramach pracy własnej AGH nr 10.10.170.298

Literatura

- [1] Dańko J., Dańko R., Łucarz M. Processes and devices for reclamation of used moulding sands. Wydawnictwo Naukowe Akapit, 291, 2007.
- [2] Holtzer M., Dańko J. Waste management from the foundry industry in accordance with sustainable development. Polish Journal of Environmental Studies, 16 (3B) pp. 168–172, 2007.
- [3] Integrated Pollution and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Smitherie and Foundries Industry. European Commission, May 2005.
- [4] Dańko J., Holtzer M., Małolepszy J., Gawlicki M., Dańko R., Pytel Z., Jagosz A., Grabowska B.: Możliwości ograniczenia i metody zagospodarowania odpadów z procesów odlewniczych. Informator dla odlewni. Praca zbiorowa. Kraków. Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, 2009. — 154 s.
- [5] Dańko R.: Podstawy teoretyczne i technologiczne doboru optymalnych sposobów regeneracji suchej zużytych mas odlewniczych. PH. D. Thesis, Department of Foundry Engineering, AGH, Kraków 2006.

TYPOWE ROZWIĄZANIA REGENERATORÓW MECHANICZNYCH Z NAPĘDAMI WIBRACYJNYMI

Rafał DAŃKO¹
Józef DAŃKO²
Mariusz ŁUCARZ³

Wprowadzenie

Analiza odlewni krajowych w aspekcie ilości wytwarzanych odpadów i zużywanego świeżego piasku wykazała niezbędność działań mających na celu zmniejszenie zużycia materiałów i zagospodarowanie zużytej masy formierskiej [informator]. Jedynym uzasadnionym ekonomicznie i słusznym z punktu widzenia ochrony środowiska sposobem rozwiązania tego problemu jest wprowadzenie w jak najszerszym zakresie w odlewniach procesu regeneracji.

Istotnym zagadnieniem determinującym wytypowanie optymalnych metod regeneracji dla konkretnego zakładu odlewniczego jest identyfikacja systemu obiegu masy zużytej. Pod względem przydatności do regeneracji dzieli się je, zgodnie z propozycją dokumentu referencyjnego Unii Europejskiej [2], na masy zużyte pochodzące z danej, pojedynczej technologii, stosowanej w odlewni (system mas jednolitych) oraz w krańcowym przypadku, na mieszaninę kilku rodzajów masy zużytej pochodzących z różnych technologii (system mas mieszanych).

Obróbka regeneracyjna jest rozumiana jako kompleks czynności procesowych, którym jest poddawana masa zużyta, począwszy od wstępnego przygotowania, poprzez regenerację właściwą, aż do obróbki finalnej regeneratu w wyniku, którego odzyskuje się przynajmniej jeden najważniejszy komponent masy, któremu stawia się wymagania dotyczące jakości.

W tradycyjnych technologiach form i rdzeni sporządzanych na osnowie piasku kwarcowego z dodatkiem lepiszcza regeneracja sprowadza się do odzysku piasku i znacznie rzadziej piasku i bentonitu [1, 3]. W całej gamie mas ze spoiwami syntetycznymi w wyniku obróbki regeneracyjnej masy zużytej można odzyskiwać jedynie osnowę, stąd często używa się określenia regeneracja zużytej osnowy.

W literaturze przedmiotu [3–6] podaje się liczne opisy rozwiązań systemów regeneracji, opisów i charakterystyk stosowanych urządzeń wraz z kontrolą i sterowaniem przebiegiem ich funkcjonowania w powiązaniu z różnymi rodzajami mas zużytych poddawanych obróbce regeneracyjnej.

Aktualnie, poszukiwania badawcze krajowych, europejskich i poza europejskich ośrodków prowadzone są zarówno w zakresie doskonalenia znanych odmian regeneracji pod kątem zmniejszenia ich niekorzystnych cech (niski uzysk, niewystarczający stopień oczyszczenia osnowy, mechaniczne zużycie osnowy, duża energochłonność, zmiana aktywności chemicznej osnowy), jak również generowania nowych rozwiązań w oparciu o badania mechanizmu destrukcji otoczek zużytego materiału wiążącego za pomocą bardziej efektywnych metod.

Do regeneracji mas zużytych „trudno regenerujących się”, których przykładem są masy ze szkłem wodnym utwardzane estrami oraz masy będące mieszaniną różnych

¹ dr inż. Rafał, Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Inżynierii Procesów Odlewniczych; rd@agh.edu.pl

² prof. dr hab. inż., Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Inżynierii Procesów Odlewniczych; jd@agh.edu.pl

³ dr inż., Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Inżynierii Procesów Odlewniczych; eumar@agh.edu.pl

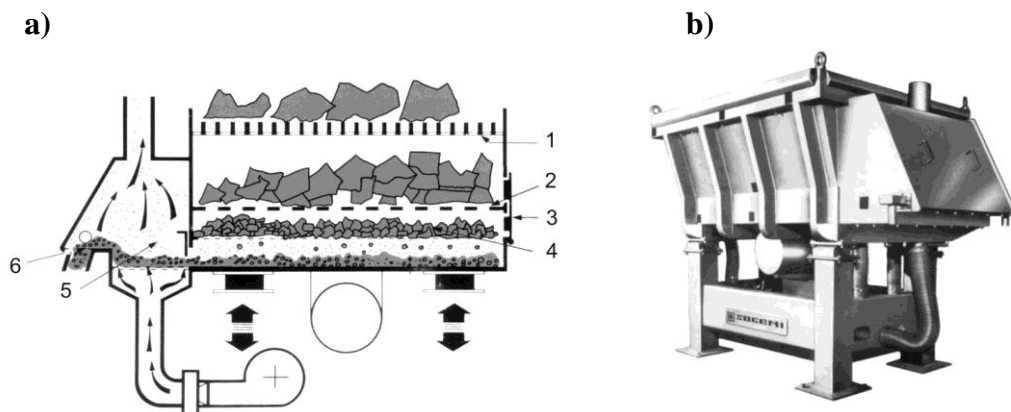
rodzajów mas zużytych (np. masa z bentonitem, masa ze szkłem wodnym utwardzana CO_2 , masa z żywicą syntetyczną) wymagane jest stosowanie regeneratorów o bardzo intensywnym efekcie krusząco-ścierającym, do których należy ogół kruszarek wibracyjnych oraz regeneratory pneumatyczne udarowo-ścierne, czy urządzenia hybrydowe, łączące szereg różnych oddziaływań. 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 [2, 3]. 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 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 ocenę temperaturę spiekania osnowy, skład granulometryczny regeneratu, morfologię powierzchni ziaren oraz właściwości wytrzymałościowe masy z regeneratem. Znacznemu rozszerzeniu ulega także 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.

1. Urządzenia do regeneracji wibracyjnej

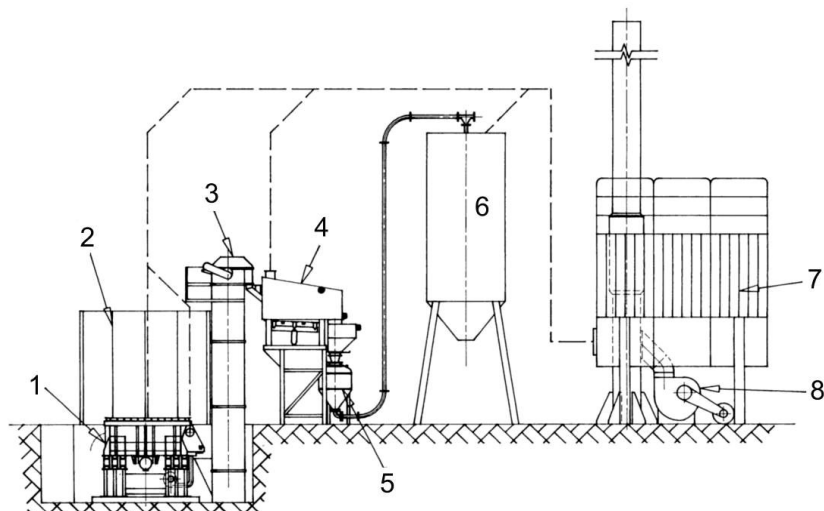
1.1. Kruszarki wibracyjne typu Gamma – Mill

Na rysunku 1 przedstawiono schemat regeneratora mechanicznego zbudowanego na bazie kruszarki wibracyjnej typu Gamma – Mill, który wchodzi w skład systemu firmy SOGEMI ENGINEERING (rys. 2), przeznaczonego do regeneracji osnowy z mas zużytych ze spoiwami chemoutwardzalnymi.

Regenerator typu Gamma – Mill można stosować jako autonomiczne urządzenie do kruszenia i regeneracji zużytych mas chemoutwardzalnych, lub jako element bardziej rozbudowanego systemu regeneracji, w którym do wybijania pakietów masy stosuje się odrębną kratę. W pierwszym przypadku nierozkruszone bryły masy są ładowane na kratę (1), w ilości odpowiadającej dopuszczalnemu obciążeniu kraty. Następnie są wstępnie rozdrabniane pod wpływem drgań urządzenia w wyniku kruszenia i ścierania o uźbrowaną powierzchnię, a w końcu w wyniku zmniejszenia rozmiarów przesypują się na kolejne elementy krusząco-ścierne (2) i (4). Nieodseparowane wcześniej, zanieczyszczenia metalowe oraz niemetalowe są usuwane okresowo przez okno w bocznej ścianie regeneratora (3).



Rys. 1. Schemat regeneratora typu Gamma – Mill: a – schemat urządzenia: 1 – krata do wybijania i wstępnego rozbrzykania pakietów masy, 2 – krata pośrednia do rozdrabniania brył masy, 3 – okno do usuwania zanieczyszczeń metalowych, 4 – przegroda sitowa do rozdrabniania finalnego i przesiewania, 5 – klasyfikator pneumatyczny fluidyzacyjny, 6 – sito na wysypie regeneratu, b – widok [3].



Rys. 2. Schemat systemu regeneracji firmy SOGEMI ENGINEERING (Włochy): 1 obudowa odciagu pyłów, 2 -regenerator typu Gamma – Mill, 3 – przenośnik kubelkowy, 4 – chłodziarko-klasyfikator typu „G”, 5 – podajnik transportu pneumatycznego, 6 – zbiornik regeneratu, 7- system odpylania z automatycznym oczyszczaniem filtrów, 8 – wentylator [3].

Regeneracja właściwa zachodzi w trakcie przemieszczania się ziaren w złożu na dnie urządzenia i podczas transportu do klasyfikatora pneumatycznego. W tym przypadku dominują elementarne operacje ocierania i ścierania zużytej otoczki spoiwa z powierzchni ziaren. Klasyfikacja zregenerowanej osnowy następuje w klasyfikatorze pneumatycznym fluidyzacyjnym (5) oraz na sicie (6), zainstalowanym na wysypie regeneratu. W przypadku, gdy regenerat jest poddawany chłodzeniu jego ostateczny skład granulometryczny jest kształtowany w wyniku finalnej klasyfikacji osnowy w trakcie chłodzenia przedmuchem powietrza.

Napęd regeneratora stanowi zespół wibratora rotodynamicznego dwu masowego, dający siłę wymuszającą o wektorze prostopadłym do płaszczyzny podstawy wibratora. Podparcie zbiornika regeneratora stanowią elementy sprężyste, typu elastomerowego, dające możliwość uzyskania wymaganej amplitudy drgań i wpływające na zmniejszenie natężenia hałasu generowanego przez napęd urządzenia.

Wydajność regeneracji jest związana z ilością, rozmiarami i twardością brył masy poddawanej obróbce regeneracyjnej. Nominalny typoszereg urządzeń obejmuje wydajności 5 i 10 t/h, przy czym w poszczególnych modelach występuje zróżnicowanie wymiarów kraty, nośności urządzenia, wymaganej mocy napędu i ogólnych gabarytów stanowiska. Podstawowe dane dotyczące parametrów użytkowych modeli regeneratora typu Gamma – Mill zostały zamieszczone w tabeli 1.

Ważnym elementem systemu przedstawionego na rysunku 2 jest chłodziarko-klasyfikator typu „G”, którego parametry wydajnościowe są dostosowane do wydajności odpowiednich regeneratorów w ramach trzech produkowanych modeli (por. tab. 1). Część chłodząca urządzenia jest wyposażona w wodny wymiennik ciepła w postaci rurek

miedzianych, zanurzonych w czasie pracy urządzenia w złożu zregenerowanej osnowy. Osnowa jest fluidyzowana przez powietrze dostarczane z wentylatora podmuchowego, co pozwala na skuteczne jej schłodzenie. Temperatura regeneratu opuszczającego chłodziarkę wynosi około 50C powyżej temperatury wody w obiegu chłodzącym. Chłodziarka fluidyzacyjna realizuje także końcowy stopień klasyfikacji regeneratu poprzez możliwość regulacji ilości powietrza dostarczanego przez wentylator podmuchowy oraz ilości powietrza odciąganego do cyklonu i systemu odpylającego.

Tabela 1. Parametry użytkowe regeneratorów typu Gamma – Mill oraz chłodziarko-klasyfikatorów typu „G” [3].

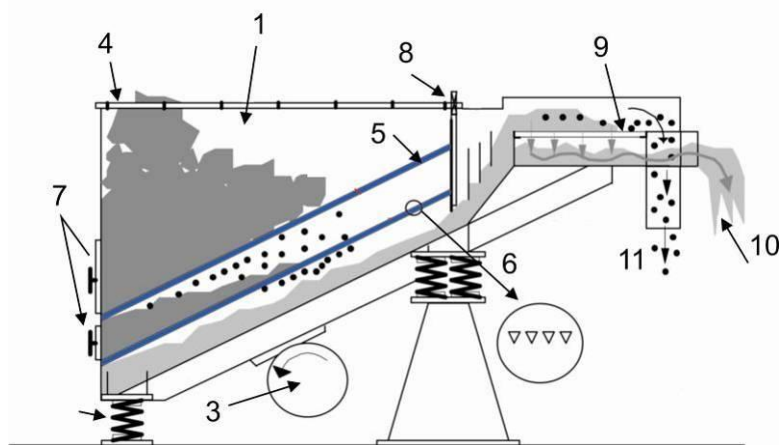
Regenerador typu Gamma – Mill				
Model	Wydajność	Wymiary kraty	Obciążenie kraty	Moc zasilania
	[t/h]	[mm]	[kg]	[kW]
Gamma-Mill 6	5	1500x1000	1250	5,00
Gamma-Mill 12	10	1930x1350	2000	7,00
Gamma-Mill 12 S	10	2500x1500	2000	7,70
Gamma-Mill 12 S/5	10	2500x2000	5000	11,25
Chłodziarko-klasyfikator typu „G”				
Model	Wydajność	Zużycie wody	Odciąg pyłów	Moc zasilania
	[t/h]	[m ³ /min]	[m ³ /min]	[kW]
G 3	3	0,364	35,0	7,50
G 6	5	0,568	50,0	11,00
G 12	10	0,568	78,0	18,50

1. 2. Kruszarki wibracyjne typu Vibrader

Na rysunku 3 przedstawiono schemat podstawowego członu do regeneracji mechanicznej w kruszarkach wibracyjnych typu Vibrader firmy RICHARDS ENGINEERING (Anglia).

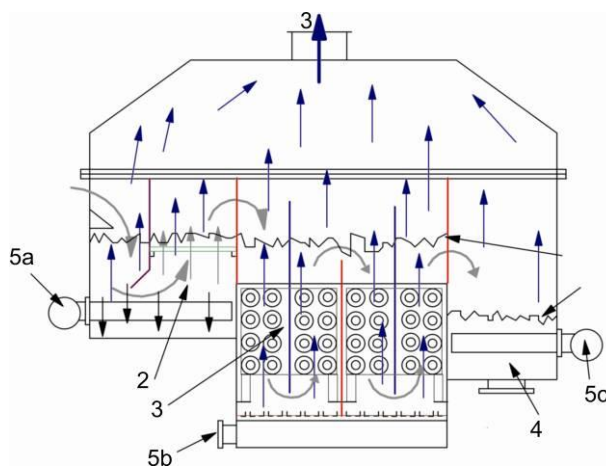
Zastosowanie kruszarek omawianego typu jest uniwersalne, jakkolwiek najczęściej są one stosowane jako pierwsze stopnie regeneracji w systemach wielostopniowych, lub jako autonomiczne urządzenia do kruszenia i regeneracji zużytych mas chemoutwardzalnych. Kruszarkę wibracyjną typu Vibrader HD stanowi zbiornik ścierający (1). o charakterystycznym trójkątnym profilu, który jest posadowiony na dwóch zespołach sprężyn (2). Do napędu regeneratora służy zespół wibratora rotodynamicznego jednomasowego (3), o eliptycznym torze wektora siły wymuszającej. Ściany boczne kruszarki są wykonane ze stali węglowej odpornej na zużycie ściernie o grubości 6,3 mm. Górna powierzchnia zbiornika masy (1), o silnie nachylonym dnie, jest wyposażona w wymiennalną kratę (4) z ostrymi krawędziami i występami, służącą do wstępnego kruszenia brył masy. Wewnątrz zbiornika ściernego są umieszczone nad sobą dwie przegrody rusztowe, z których górna (5) ma 20-sto milimetrowe prześwity pomiędzy elementami listwowymi, natomiast dolna (6) jest sitem prętowo-szczelinowym,

o rozmiarach szczeliny wynoszących 1,25 mm, co pozwala na znaczne rozdrobnienie masy a jednocześnie oddzielenie drobnych cząstek metalu.



Rys. 3. Schemat kruszarki wibracyjnej typu Vibrader HD firmy RICHARDS:
1 – zbiornik ścierający, 2-zespół sprężyn, 3 – napęd wibracyjny, 4 –wymienialna krata,
5 – przegroda rusztowa do zgrubnego rozdrabniania, 6 – sito prętowo szczelinowe, 7 – otwory rewizyjne , 8 – przegroda do regulacji grubości warstwy materiału, 9 – sito, 10 – otwór wylotowy [3].

Tylna część zbiornika ma dwa otwory rewizyjne (7), usytuowane na poziomie sit, służące do usuwania drobnych części metalowych i niemetalowych. Strona wylotowa kruszarki jest oddzielona od zespołu krusząco-ścierającego pionową przegrodą (8), za pomocą której można regulować ilość materiału podawanego wibracyjnie do wylotu z urządzenia. Rozdrobniona, zużyta masa w trakcie przemieszczania się po dnie zbiornika głównego oraz w części wznoszącej jest poddana intensywnej cyrkulacji, co powoduje ścieranie materiału wiążącego z powierzchni ziaren. W tym rozwiązaniu dominującymi operacjami elementarnymi są ocieranie i ścieranie zużytej otoczki spoiwa. W części wylotowej zregenerowana osnowa jest przesiewana (9), a następnie przesypuje się przez kanał wylotowy kruszarki (10) do chłodziarko-klasyfikatora (rys. 4).



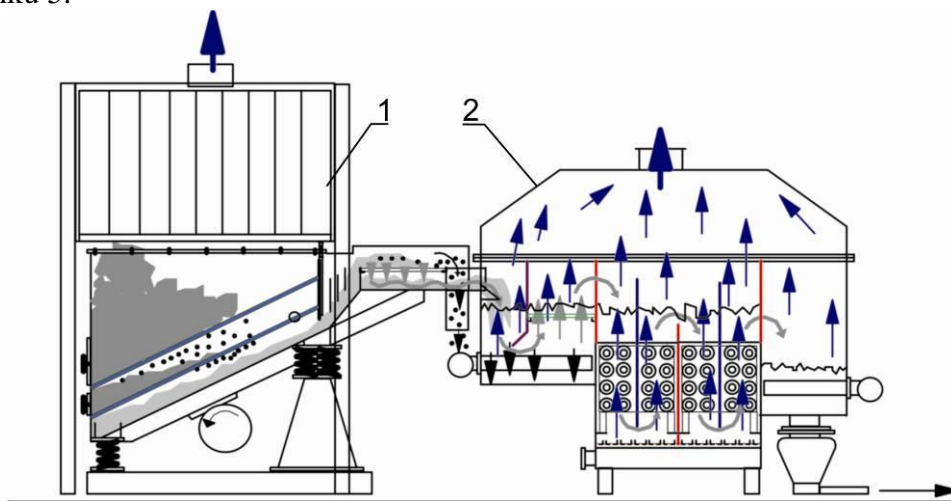
Rys. 4. Schemat chłodziarko-klasyfikatora firmy Richards Engineering Ltd.:
1 – wlot zapylonego regeneratu (brak na rysunku) , 2 – sito do separacji

zanieczyszczeń metalowych, 3 – wodny wymiennik ciepła, 4 – otwór wylotowy, 5 a,b,c - króćce przewodów do podłączenia wentylatorów do fluidyzacji materiału [3].

Proces klasyfikacji zregenerowanej osnowy zachodzi w module firmowej chłodziarki, w którym regenerat jest przedmuchiwany powietrzem w złożu fluidyzacyjnym, aktywowanym za pomocą odrębnych wentylatorów, służących do zasilania poszczególnych sekcji dna.

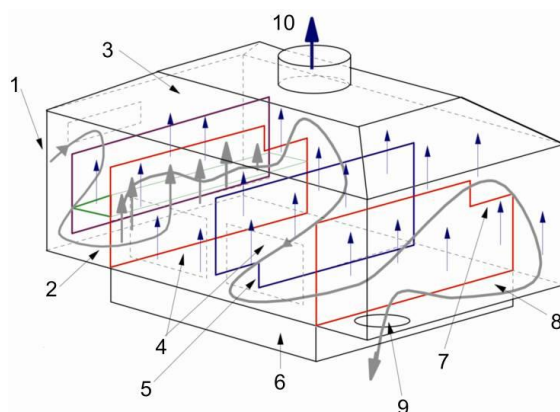
U wlotu do urządzenia (1) regenerat jest przesiewany na sicie (2), w celu całkowitego usunięcia cząstek metalu, a następnie przemieszcza się w labiryncie przegród do sekcji chłodzenia (3), i kolejno w stronę wylotu (4), połączonego z podajnikiem transportu pneumatycznego. Celowe wydłużenie drogi zregenerowanej osnowy w chłodziarko-klasyfikatorze oraz wymuszony przepływ chłodzonego materiału przez człon wodnego wymiennika ciepła, powoduje chłodzenie materiału, połączone z dalszym ścieraniem otoczki zużytego spoiwa. Zastosowanie indywidualnych wentylatorów dla każdej sekcji pozwala to na zróżnicowanie intensywności fluidyzacji w części wlotowej urządzenia (5a), następnie w środkowej (5b), zawierającej wymiennik ciepła oraz w końcowej (5c), gdzie jest kształtowany ostateczny skład granulometryczny zregenerowanej osnowy, w wyniku doboru odpowiedniej prędkości przedmuchu oraz wysokości warstwy materiału.

Układ funkcjonalny tandemu: kruszarka typu Vibrader HD oraz chłodziarko-klasyfikator tej samej firmy Richards Engineering został przedstawiony schematycznie na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat funkcjonalny typowego gniazda regeneracji z kruszarką wibracyjną oraz chłodziarko-klasyfikatorem firmy Richards Engineering: 1 – kruszarka wibracyjna typu Vibrader HD, 2 – chłodziarko-klasyfikator [3].

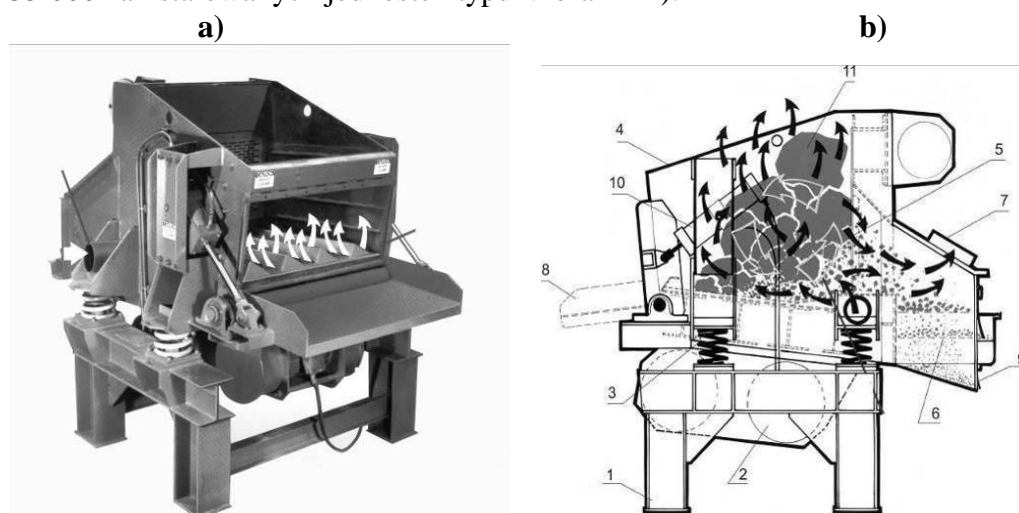
Na rysunku 6 zaznaczono schematycznie przemieszczanie się regeneratu wewnątrz chłodziarko-klasyfikatora.



Rys. 6. Przemieszczanie się regeneratu wewnątrz chłodziarko-klasifikatora. Firmy Richards Engineering [książka]. 1- doprowadzenie regeneratu, 2 –sekcja przesiewania i separacji drobnych zanieczyszczeń metalowych, 3- sekcja przyspieszania frakcji pyłowych, 4 – panele chłodzące, 5 – przepust dolny, 6 – część chłodząco-fluidyzacyjna, 7 – przepust górny, 8 – sekcja końcowa, 9 – otwór wysypowy, 10 – odciąg zapyłonego powietrza [3].

1. 3. Kruszarka wibracyjna typu Vibra-Mill firmy GENERAL KINEMATICS (USA)

Schemat kruszarki wibracyjnej Vibra-Mill (model VMC) firmy GENERAL KINEMATICS została przedstawiony na rysunku 7. To rozwiązanie, wraz z wcześniej opisanym rozwiązaniem typu Vibrader HD (por. rys. 3), jest uważane za najbardziej charakterystycznego przedstawiciela szeregu wibracyjnych urządzeń do regeneracji mechanicznej osnowy z mas zużytych ze spoiwami chemoutwardzalnymi. Jest to niewątpliwie związane z bardzo szerokim rozpowszechnionym w świecie stosowaniem tych kruszarek w uproszczonych systemach regeneracji suchej, mechanicznej (około 35 000 zainstalowanych jednostek typu Vibra-Mill).



Rys. 7. Schemat kruszarki wibracyjnej typu Vibra-Mill model VMC firmy GENERAL KINEMATICS: a) widok urządzenia, b) schemat funkcjonalny: 1- podstawa konstrukcji, 2- napęd wibracyjny rotodynamiczny dwumasowy, 3 – podparcie sprężyste, 4 – obudowa kruszarki, 5 – przegroda wstępnego przesiewania, 6 – sita przesiewacza gotowego produktu, 7 – odciąg zapyłonego powietrza, 8 – odpady nie podlegające rozdrobnieniu,

9 – odbiór regeneratu, 10 – wysyp i napęd klapy do usuwania zanieczyszczeń metalowych i niemetalowych z komory głównej kruszarki, 11 – zbrylenia masy zużytej [3].

Proces regeneracji wstępnej rozpoczyna się z chwilą rozdrabniania i kruszenia brył masy zużytej załadowanych do obudowy kruszarki (4). Rozdrobniona masa zużyta podlega przesiewaniu wstępnemu przesypując się przez przegrodę (5) na zestaw sit (6), na którym realizowana jest regeneracja właściwa. Uzyskany regenerat podlega odpylaniu w systemie odciągu powietrza (7), natomiast osnowa jest ostatecznie klasyfikowana na zestawie sit. Dolny zakres wielkości sit odpowiada prześwitowi oczek 20 mesh (1,25 mm). Powietrze służące do chłodzenia masy i jednocześnie do ewakuacji z urządzenia pyłowych produktów regeneracji jest zasysane przez otwór w bocznej ścianie urządzenia, przechodzi przez ścianki rynien w dnie regeneratora i przez otwór odciągowy zapyłonego powietrza (7), a następnie jest zasysane do cyklonu i systemu odpylania.

Odpady niepodlegające rozdrobnieniu, na które składają się pozostałości zanieczyszczeń metalowych oraz niemetalowych usuwa się okresowo przez stosowne otwory wysypowe (8, 10).

Podkreślaną przez użytkowników zaletą urządzenia jest możliwość regeneracji masy gorącej, której temperatura ulega w czasie procesu obróbki regeneracyjnej zmniejszeniu do 300F. Trwałość kruszarki jest zapewniona dzięki solidnej konstrukcji jego zespołów roboczych, a także przez właściwy dobór siły wymuszającej, generowanej przez napęd wibracyjny rotodynamiczny dwumasowy (2).

Podsumowanie

Badania podstawowe i technologiczne procesu regeneracji doprowadziły do wyodrębnienia tak zwanych operacji elementarnych, które w przypadku suchej regeneracji mechanicznej wskazują następujące techniki stosowane do rozbrylania i kruszenia zlepków masy oraz uwalniania osnowy z otoczek zużytego materiału wiążącego::

- intensywne mechaniczne oddziaływanie sił tarcia ziaren osnowy o siebie i o elementy konstrukcyjne urządzenia wprawianego w drgania wibracyjne w warunkach prowadzenia procesu w temperaturze: otoczenia, podwyższonej lub ekstremalnie niskiej (kriogenicznej),
- gwałtowna zmiana pędu ziaren osnowy lub strumienia piaskowo- powietrznego, realizowana najczęściej w regeneratorach pneumatycznych, rzutowych, wirnikowych, odśrodkowych,
- stopniowe mechaniczne oddziaływanie sił tarcia a ziaren osnowy o siebie i o elementy konstrukcyjne urządzenia w warunkach prowadzenia procesu w złożu materiału ziarnistego upłynnionego przez wibrofluidyzację.

Opracowanie wykonane w ramach projektu POIG nr WND-POIG.01.03.01-12-007/09

Literatura

- [1] Dańko J., Holtzer M., Małolepszy J., Gawlicki M., Dańko R., Pytel Z., Jagosz A., Grabowska B.: *Możliwości ograniczenia i metody zagospodarowania odpadów z procesów odlewniczych. Informator dla odlewni. Praca zbiorowa.* Kraków. Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, 2009. — 154 s.
- [2] *Integrated Pollution and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry.* European Commission, May 2005.
- [3] Dańko J., Dańko R., Łucarz M. *Maszyny i urządzenia do regeneracji mas zużytych.* Wydawnictwo Naukowe Akapit, 291, 2007.
- [4] Dańko R.: *Podstawy teoretyczne i technologiczne doboru optymalnych sposobów regeneracji suchej zużytych mas odlewniczych.* PH. D. Thesis, Department of Foundry Engineering, AGH, Kraków 2006.
- [5] Pastucha L., Mielczarek E.: *Kinetyka i termodynamika rozdrabniania strumieniowego.* Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1994.
- [6] Sztaba K.: *Przesiewanie.* Śląskie Wydawnictwa Techniczne, 1993.
- [7] Fedoryszyn A.: *Analiza rozdziału ziarn materiałów w odlewniczym urządzeniu fluidyzacyjnym.* Rozprawy i monografie. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 1999.
- [8] Clarc S. E., Thoman Ch. i inni: *Using reclaimed sand for chemically bonded cores.* GIFA 94, June 1994.
- [9] Smith D. L. i in.: *Changing from thermal reclamation to “Attrition only”: a step back to the future.* AFS transactions 1993, s. 415-422..
- [10] Tordoff W. L. , Miller J., Trembly J.: *New development in sand reclamation.* CIATF Technical Forum, 1999, p. 377-386.

WARUNKI ZACHOWANIA NATURALNYCH SKŁADÓW GRANULOMETRYCZNYCH PIASKÓW KWARCOWYCH PODDAWANYCH PROCESOM OBRÓBKI MECHANICZNEJ

Mariusz ŁUCARZ¹

Wstęp

Jednym z warunków wytworzenia dobrych odlewów w przyjętej technologii produkcji jest powtarzalność parametrów masy formierskiej i rdzeniowej. W przypadku wielokrotnego wykorzystywania tego samego materiału do wykonywania formy odlewniczej, wymagane jest jego odpowiednie przygotowanie. Do niezbędnych zabiegów zalicza się między innymi proces regeneracji. Zabiegi oczyszczania osnowy kwarcowej z materiału wiążącego, który utracił swoje właściwości spajające ziarna osnowy, najczęściej realizowane są najtańszą metodą mechaniczną. Proces ten oprócz korzystnych i oczekiwanych efektów ścierania, wykruszania się zużytych otoczek materiału wiążącego, narusza również powierzchnię osnowy ziarnowej. Podczas mechanicznego oczyszczania występują także często dynamiczne oddziaływania, w niektórych urządzeniach, które powodują rozdrabnianie osnowy. Ponieważ ciągi technologiczne przerobu mas są układami otwartymi, wyposażonymi w przesypy, odciagi, we wszystkich tych miejscach zachodzi zjawisko klasyfikacji osnowy ziarnowej. Towarzyszy temu intensywne odpylanie, co może stwarzać wrażenie o braku destrukcji osnowy szczególnie, gdy drobne frakcje są odwiwane. Zjawiska destrukcyjnego działania elementów konstrukcyjnych urządzeń na osnowę kwarcową są niepożądane, ale niestety nieuniknione. Budowa, kształt ziaren naturalnych piasków kwarcowych są czynnikami, które temu procesowi niszczenia sprzyjają. Dlatego powinno się kontrolować skalę tego nieuchronnego procesu. Sterowanie zużyciem jest możliwe, jeżeli oszacuje się poziom dopuszczalnych oddziaływań mechanicznych. Można to określić na podstawie badań podstawowych opisujących funkcję wielkość zużycia ziarn osnowy w czasie, przy znanych wartościach parametrów pracy regeneratorów mechanicznych.

1. Przebieg badań

W celu określenia poziomu wartości oddziaływań mechanicznych, które mogą spowodować niszczenie osnowy kwarcowej, a tym samym spowodować zaburzenie naturalnych składów granulometrycznych wykonano badania w regeneratorsze mechanicznym z wymiennymi pobocznkami obwodowymi. Kształt pobocznicy obwodowej regeneratorsza był tak dobrany, że w jednym przypadku intensyfikował udarowe oddziaływanie na osnowę kwarcową, a w drugim dzięki odpowiedniemu profilowi ograniczał zjawisko udarowe, na rzecz procesu ścierania [1]. Badania przeprowadzono na trzech pojedynczych wyselekcjonowanych frakcjach osnowy kwarcowej: 0,8 mm, 0,63 mm i 0,4 mm. Wybór tych frakcji był podyktowany masą cząstek. Przyjęto bowiem założenie, że im większa masa ziarna, tym większe prawdopodobieństwo jego niszczenia w układzie pracy regeneratorsza [2].

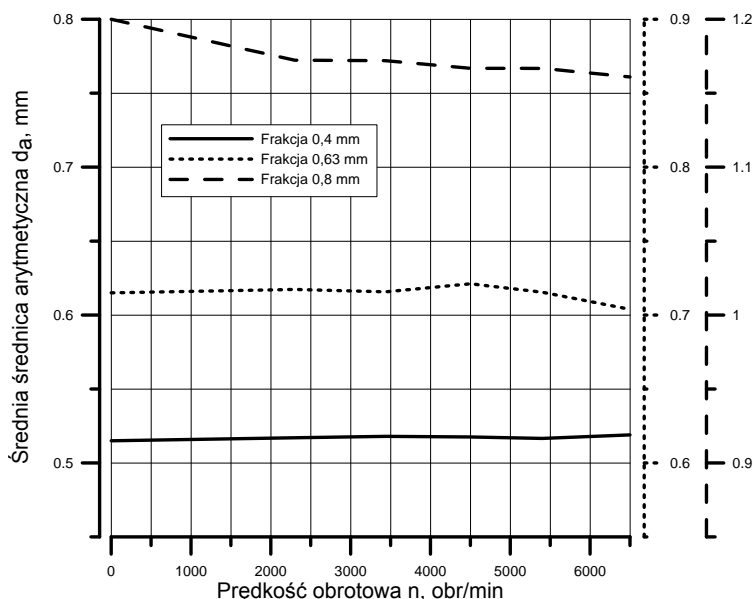
Efekt zamierzonej destrukcji osnowy kwarcowej był regulowany zmieniającą się prędkością obrotową talerza. Prędkość maszyny nastawiana była z wykorzystaniem

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

przetwornicy częstotliwości (falownika) Mitsubishi. Badania były realizowane w zakresie prędkości obrotowych od 2300 do 6500 obr/min. Górna wartość prędkości, była maksymalną jaką udało się uzyskać w urządzeniu badawczym.

Wyniki przedstawiono w oparciu o analizy sitowe pojedynczych wyselekcjonowanych frakcji, które były przepuszczane 5 razy przez układ regeneratora. W trakcie badań odśrodkowy regenerator mechaniczny pracował z 1 talerzem obrotowym. Po danym cyklu obróbczym, realizowanym z określoną prędkością obrotową talerza i zainstalowaną w urządzeniu wymienną pobocznicą obwodową, wykonywano 4 analizy sitowe otrzymanego materiału. Pozwalało to otrzymać dwa wyniki, które tworzyły średnią wartość prezentowaną na wykresach. Taki tryb postępowania miał na celu uśrednienie wyników, ze względu na tendencję segregacji badanego materiału w urządzeniu, oraz podczas pobierania próbek do analizy sitowej. Efekty obróbki mechanicznej w regeneratorze zaprezentowano w oparciu o średnią średnicę arytmetyczną d_a .

Mając świadomość, że badania miały na celu poszukiwanie warunków, w których zaistnieją procesy zużycia osnowy kwarcowej, prędkość pracy urządzenia była zmieniana skokowo, co pewną wartość. W związku z tym, prezentowane poniżej zależności mają charakter jedynie przybliżony i poglądowy. Taki tryb badań wynika z zakresu i czasochłonności działań, w celu przygotowania pojedynczego wyniku. Nie oznacza to jednak, że nie uzyskano informacji, istotnych dla bezpiecznego prowadzenia procesu oczyszczania osnowy, mających na celu zachowanie naturalnych składów granulometrycznych piasków odlewniczych.

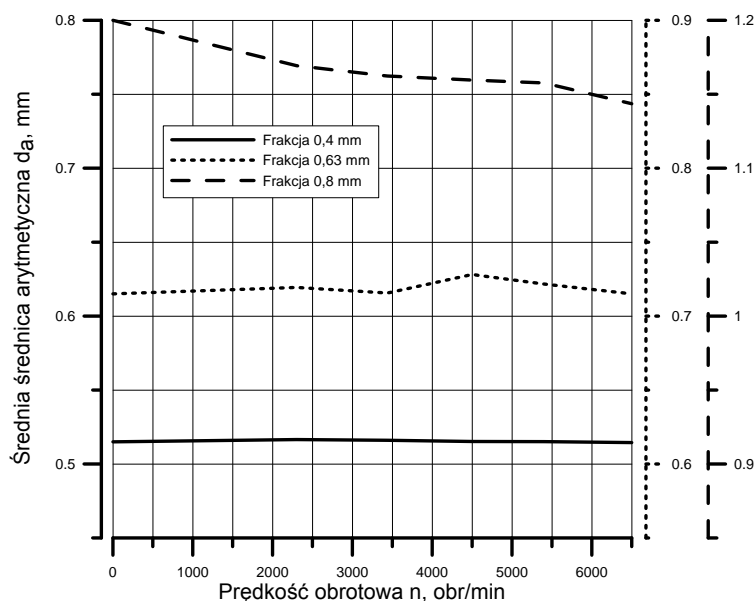


Rys. 1. Zależność średniej średnicy ziarn d_a w funkcji prędkości obrotowej regeneratora odśrodkowego z pobocznicą bezударową, dla trzech wyselekcjonowanych frakcji.

Na rysunku 1 zestawiono wyniki badań wykonane w urządzeniu z bezударową pobocznicą obwodową. Stwierdzono, że w zależności od wielkości cząstki, jej masy, dla różnych prędkości obrotowych talerza zaczynał się proces niszczenia poszczególnych frakcji. Materiał wyselekcjonowany na sicie 0,8 mm ulegał niszczeniu już dla najmniejszej z zastosowanych prędkości. Ze zwiększeniem prędkości obrotowej talerza efekt zmniejszania się średniej średnicy ziarn d_a był bardziej znaczący.

W przypadku frakcji wyselekcjonowanej na sicie 0,63 mm proces niszczenia ziarn w sposób wyraźny zainicjowany został wówczas, gdy urządzenie pracowało z prędkością

większą od 4500 obr/min. Natomiast dla najdrobniejszej z wyselekcjonowanych frakcji 0,4 mm nie stwierdzono znaczącego niszczenia ziarn. Średnia średnica ziarn da utrzymywała się na stałym poziomie w badanym zakresie prędkości.



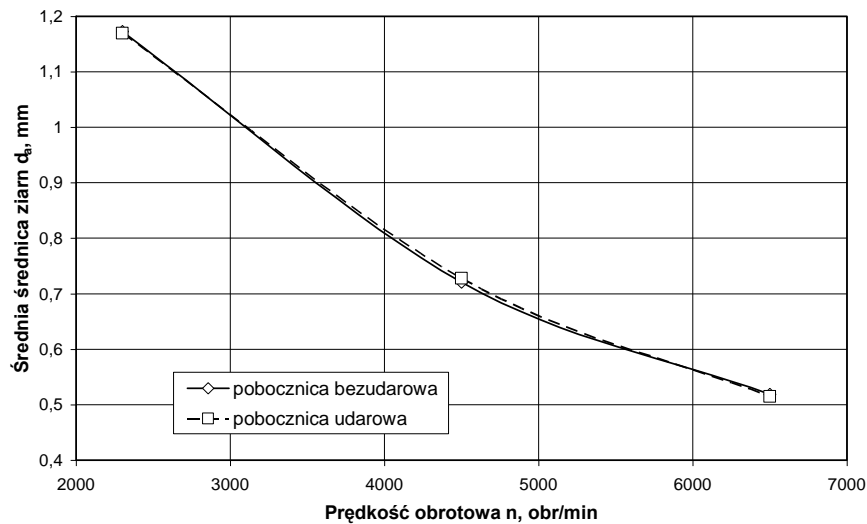
Rys. 2. Zależność średniej średnicy ziarn da w funkcji prędkości obrotowej regeneratora odśrodkowego z poboczną udarową, dla trzech wyselekcjonowanych frakcji

Na rysunku 2 przedstawiono rezultaty badań przeprowadzonych w odśrodkowym regeneratorze mechanicznym z udarową poboczną obwodową. Zaobserwowano podobny charakter wpływu prędkości obrotowej na zmianę średniej średnicy arytmetycznej da, jak w przypadku urządzenia z poboczną bezudarową. Jednakże efekt niszczenia frakcji 0,8 mm był bardziej dynamiczny, ze względu na występujące siły udarowe. Frakcja zebrana na sicie 0,8 mm w tym przypadku intensywniej się rozdrabniała. Frakcja wyselekcjonowana na sicie 0,63 mm wykazywała nieregularny charakter zmian, ale również i w tym rozwiązaniu konstrukcyjnym od prędkości 4500 obr/min zauważono sukcesywne zmniejszanie się średniej średnicy arytmetycznej ziarn. W badanym przedziale prędkości obrotowych regeneratora najdrobniejsza z wybranych frakcji osnowy ziarnowej nie ulegała znaczącemu zużyciu, co potwierdzają dane przedstawione na rysunku 2.

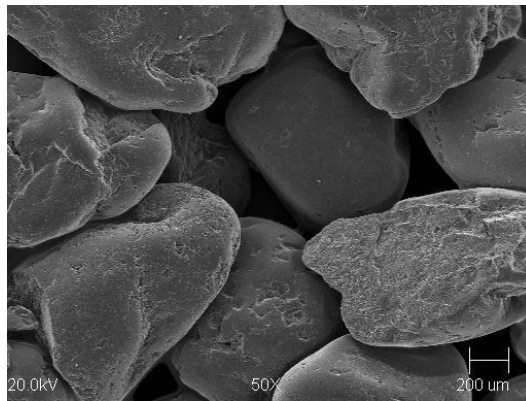
Na rysunku 3 przedstawiono wyniki, wybrane z danych prezentowanych na rysunkach 1 i 2, wpływu prędkości obrotowej urządzenia na poszczególne wyselekcjonowane frakcje, od których zaznaczył się wyraźnie proces zmniejszania się średniej średnicy arytmetycznej ziarna da, co było kryterium rozpoczęcia zużycia poszczególnych frakcji osnowy ziarnowej. Prezentowany wykres określa progowe wartości prędkości obrotowych, powyżej których można się spodziewać, że poszczególne frakcje będą ulegać procesowi zużycia. Przedstawione na rysunku 3 zestawienie danych otrzymane dla regeneratora mechanicznego odśrodkowego z poboczną obwodową: bezudarową lub udarową niewiele się różnią, w związku z tym można przyjąć, że jeżeli chodzi o jednorazowe przejście przez układ regeneratora (układ 5 talerzy) niczym się nie różnią.

Stwierdzono także, że w wyniku obróbki, część pojedynczych frakcji, po przejściu przez układ regeneratora, zbierała się na sitach o numerach wyższych. Był to jeden z czynników zaburzających uzyskiwane rezultaty. Taki stan rzeczy wynika z kształtu ziarn, które niejednokrotnie mając kształt wydłużony w kierunku jednej osi, mogły przejść przez sito podczas segregowania materiału do badań, natomiast zbierały się w kolejnym etapie

przesiewania po obróbce mechanicznej. Ilustracją zaistniałego zjawiska jest zdjęcie (rys. 4) ziarn zebranych na sicie 0,8 mm, podczas obróbki frakcji 0,63 mm w regeneratorze mechanicznym odśrodkowym z poboczną udarową [3]. Można dostrzec wydłużone ziarna, a wśród nich i takie z wyraźnymi przelomami powstałymi w wyniku mechanicznego oddziaływania.

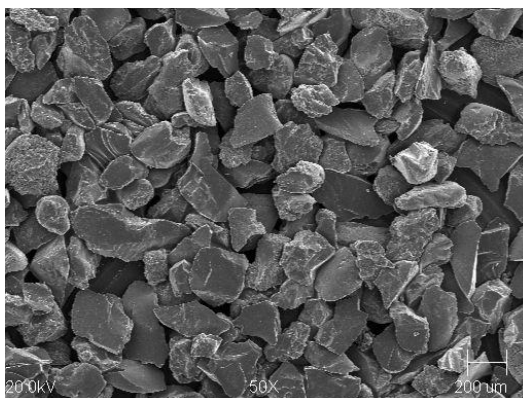


Rys. 3 Zależność średniej średnicy arytmetycznej da pojedynczych frakcji badanego piasku, dla różnych prędkości i sposobów obróbki regeneracyjnej.



Rys. 4. Ziarna frakcji 0,8 mm powstałej z frakcji 0,63 mm badanego piasku po 5 cyklach regeneracji mechanicznej udarowej, dla prędkości 6500 obr/min (pow. 50x).

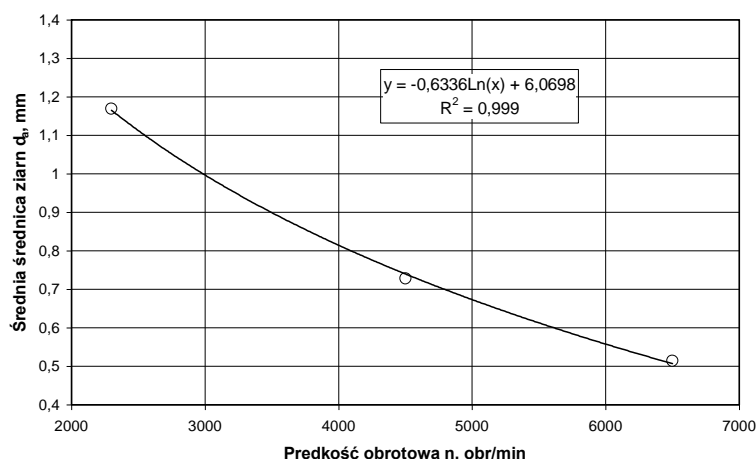
Zauważoną na rysunku 2 zmianę wartości średniej średnicy arytmetycznej da, dla wyselekcjonowanej frakcji 0,63 mm, poddanej udarowemu oddziaływaniu dla większych prędkości obrotowych, potwierdza rysunek 5. Na zdjęciu widać ostre, kanciaste drobne cząstki kwarcowe, które zebrały się na sicie 0,1 mm.



Rys. 5 Ziarna frakcji 0,1 mm powstałej z frakcji 0,63 mm badanego piasku po 5 cyklach regeneracji mechanicznej udarowej, dla prędkości 6500 obr/min (pow. 50x).

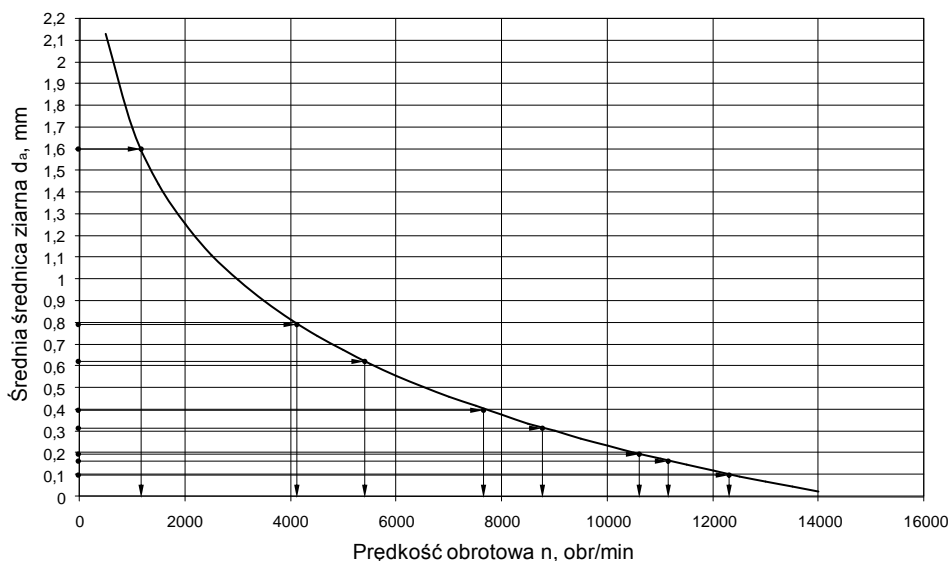
Na podstawie przeprowadzonych wstępnych badań oszacowano wartości prędkości obrotowych, dla których następowało naruszenie określonych wielkości ziarn osnowy. W badanym urządzeniu nie stwierdzono znaczącego wpływu kształtu pobocznic obwodowej na rozpoczęcie procesu niszczenia osnowy. Na podstawie wyników sporządzono aproksymację otrzymanych punktów oraz dobrano funkcję, którą graficznie przedstawiono na rysunku 6.

$$d = -0,6336 \cdot \ln(n) + 6,0698 \quad (1)$$



Rys. 6. Zależność średniej średnicy ziarna da pojedynczych frakcji piasku, dla różnych prędkości pracy urządzenia.

Ekstrapolując powyższą funkcję można określić zakresy prędkości obrotowych, których przekroczenie może wywoływać niszczenie innych frakcji osnowy ziarnowej (rys. 7). Na podstawie przeprowadzonej analizy sporządzono wykres, ukazujący przybliżone prędkości obrotowe, które mogą powodować niszczenie nie objętych badaniami frakcji.



Rys. 7. Schemat określenie przybliżonych prędkości obrotowych talerza wpływających na proces destrukcji pojedynczych frakcji.

2. Wnioski

Składy naturalne piasków odlewniczych są zbiorem wielu frakcji, dlatego zakres niekorzystnych - progowych prędkości, wywołujących określone oddziaływania mechaniczne, powinien być dobrany w odniesieniu do największej ilości pojedynczej frakcji dla danego piasku lub frakcji głównej.

Jak potwierdzają inne badania wielocyklicznej obróbki piasku kwarcowego, można się spodziewać zwiększonego zużycia piasku, szczególnie w początkowym okresie jego eksploatacji w obiegu masy formierskiej. Wstępne oddziaływania mogą powodować oddzielanie słabiej związanych fragmentów cząstek tworzących pierwotny kształt ziarna. Proces ten stabilizuje się w miarę zwiększającej się liczby oddziaływań mechanicznych. Można wtedy dostrzec również wpływ, w tej części badań nie zauważalny, elementów konstrukcyjnych (kształt pobocznic) na dynamikę niszczenia osnowy [4].

Należy podkreślić, że badania były prowadzone w urządzeniu laboratoryjnym o małych gabarytach. Wobec powyższego intensywność zachodzących zjawisk jest na pewno dużo słabsza niż w regeneratorsze o większej średnicy talerza. Najistotniejsza praca wykonywana jest w pobocznicach obwodowej. Praca elementarnych operacji regenerujących w głównej mierze zależy od prędkości z jaką cząstki masy zużytej są rzucane na pobocznicę obwodową. W przybliżeniu można przenieść zakresy realizowanych prędkości do urządzeń o większych gabarytach. Prędkość cząstki wyrzucanej z talerza zależy od dwóch składowych: prędkości promieniowej i prędkości unoszenia. Wymienione wielkości zostały opisane w pracy doktorskiej M. Łucarza [5]. Prędkość promieniowa wskutek istniejących sił bezwładności zależy od średnicy i kształtu talerza. Jej obliczenie jest dość kłopotliwe. Natomiast prędkość unoszenia zależy od średnicy talerza i prędkości kątowej.

Opierając się tylko na wartości prędkości unoszenia można określić zakresy prędkości, które będą bezpieczne dla osnowy kwarcowej w urządzeniach o większych gabarytach.

Tak określone prędkości unoszenia mogą być z kolei wykorzystane do określenia niekorzystnych prędkości obrotowych zarówno dla innych gabarytów regeneratora mechanicznego odśrodkowego lub innych urządzeń, w których prędkość liniowa decyduje o destrukcji osnowy ziarnowej.

Literatura

- [1] Dańko J., Dańko R., Łucarz M.: Procesy i urządzenia do regeneracji osnowy zużytych mas formierskich. Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, Kraków 2007.
- [2] Badanie wpływu obróbki mechanicznej suchej na intensywność zużycia osnowy ziarnowej w aspekcie zwiększenia jej odzysku i ochrony środowiska. Projekt badawczy KBN nr 7 T08B 025 26. Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków 2006 (Kierownik projektu Łucarz M.).
- [3] Łucarz M.: Badanie wpływu intensywności zabiegów regeneracji mechanicznej na stan osnowy kwarcowej. XI Konferencja Odlewnicza TECHNICAL 2008 : „Odlewnictwo XXI wieku – technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze”. P. P. P. TECHNICAL Sp. z o. o., Nowa Sól 29 – 31.05.2008, s. 61–71.
- [4] Łucarz M.: Wpływ wielokrotnej obróbki mechanicznej osnowy kwarcowej na jej zużycie ściernie lub udarowe. Archiwum Odlewnictwa, Rok 2006, Rocznik 6, Nr 18 (2/2), str. 393 – 398.
- [5] Łucarz M.: Opracowanie podstaw konstrukcji regeneratorów odśrodkowych dla mas formierskich. Praca doktorska, AGH Wydział Odlewnictwa, Kraków 1996.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Dańko

NOWE UTWARDZACZE DO SYPKICH MAS SAMOUTWARDZALNYCH ZE SZKŁEM WODNYM, PODWYŻSZAJĄCE JAKOŚĆ PIASKÓW REGENEROWANYCH

Katarzyna MAJOR-GABRYŚ¹
Stanisław M. DOBOSZ²
Jarosław JAKUBSKI³

Streszczenie

Artykuł stanowi praktyczne opracowanie wyników badań dotyczących prób zastąpienia stosowanego dotychczas do mas ze szkłem wodnym w technologii estrowej utwardzacza flodur alternatywnymi utwardzaczami estrowymi. Przedstawione badania wykazują negatywny wpływ stosowanego dotychczas utwardzacza opartego o estry kwasu octowego na jakość regeneratu z mas ze szkłem wodnym. Badania opisywane w niniejszej publikacji są wynikiem prac nad opracowaniem nowych rozwiązań utwardzaczy estrowych do mas ze szkłem wodnym, opartych o estry kwasu węglowego.

Wprowadzenie

Ze względu na dużą uniwersalność zastosowań, jako masy formierskie i rdzeniowe, jako masy o zróżnicowanych właściwościach, pod względem: wytrzymałości, szybkości utwardzania, żywotności czy też rodzaju emitowanych szkodliwych substancji, mogących oddziaływać tak na strukturę odlewów, jak i na środowisko – sypkie masy samoutwardzalne znalazły bardzo szerokie zastosowanie w praktyce odlewniczej. Wśród nich najlepszymi właściwościami technologicznymi charakteryzują się sypkie masy samoutwardzalne z żywicami syntetycznymi, a wśród nich masy z żywicami furfurylowymi, zwane potocznie – choć niezbyt precyzyjnie – masami furanowymi. Jednak gwałtownie rosnące wymogi ograniczania szkodliwości przemysłowych technologii dla środowiska, skutkujące drastycznymi ograniczeniami emisji toksycznych substancji spowodują, że już w niedalekiej przyszłości technologie oparte o organiczne spoiwa odlewnicze będą wycofywane z praktyki przemysłowej. Świadczą o tym bardzo intensywne prace w koncernach produkujących spoiwa, nad alternatywnymi systemami wiązania opartymi o spoiwa nieorganiczne. Krajowe odlewnie oraz firmy pracujące na potrzeby odlewni muszą się już do tych procesów przygotowywać. Formą przejściową może być wykorzystanie znanych technologii opartych o uwodniony krzemian sodu, czyli popularne masy ze szkłem wodnym. Tym bardziej, że już obecnie wiele niekorzystnych cech technologicznych tych mas, takich jak słaba wybijalność czy mała zdolność do regeneracji mechanicznej może być istotnie ograniczona. Tym zagadnieniem jest poświęcony niniejszy artykuł.

W kraju sypkie masy samoutwardzalne ze szkłem wodnym wytwarzane są na ogół w technologii Foster. Jako utwardzacze do tych mas najbardziej rozpowszechnione są estry kwasu octowego od dwu do pięciocząłowych wielowodorotlenowych alkoholi. Stopniowa hydroliza trioctanu gliceryny zaczyna się tworzeniem dioctanu gliceryny (I stopień) i kończy (III stopień) tworzeniem kwasu octowego i gliceryny [1]. Stopniowo

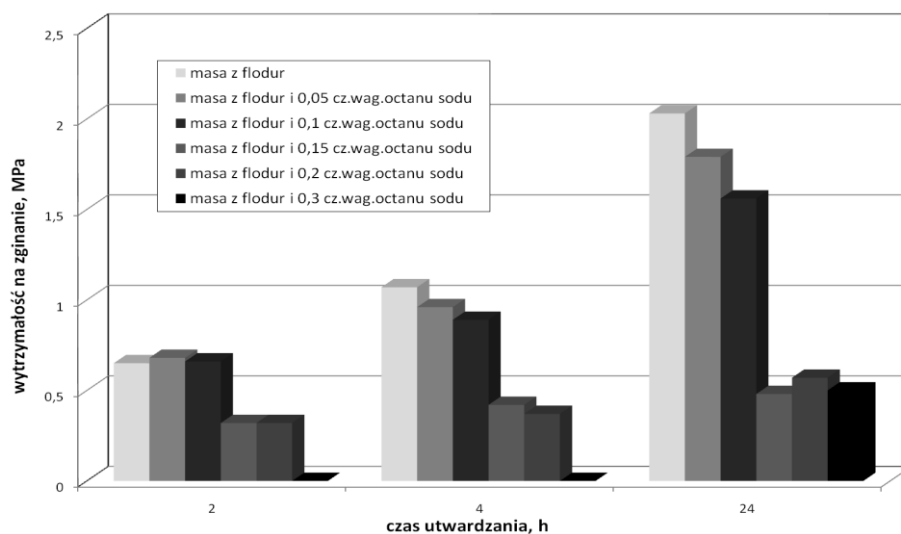
¹ dr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie

² prof. dr hab. inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, dobosz@agh.edu.pl

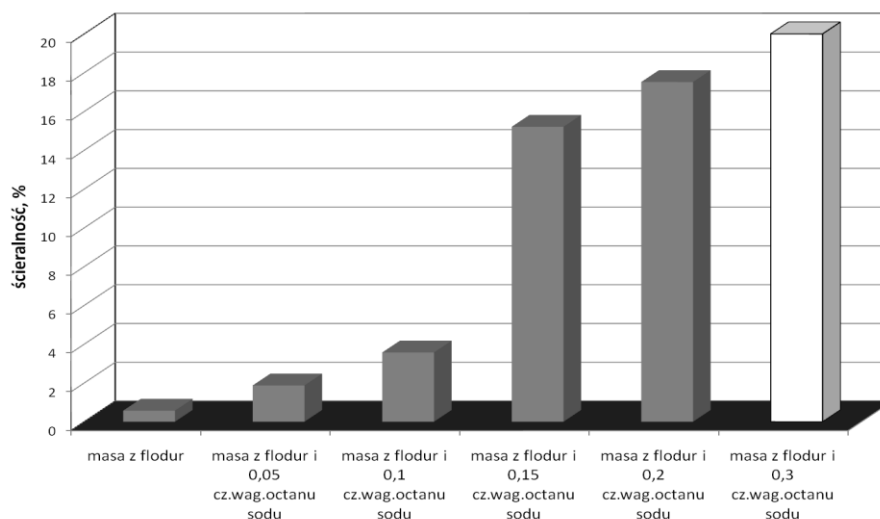
³ dr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie

wydzielający się kwas octowy reaguje z NaOH z wydzieleniem octanu sodu, który w późniejszych stadiach utwardzania krystalizuje, wzmacnia żel Si(OH)_4 powstającymi kryształami $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Według poglądu P. Jelinka [1] i potwierdzających badań własnych [2] wykazano, że powstający w wyniku reakcji związek: $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ kumuluje się w procesie regeneracji mechanicznej powodując spadek właściwości technologicznych masy (rys.1.) [2]. Ponadto związek ten jest odpowiedzialny za stan plastyczny masy występujący w przypadku większych form czy rdzeni. Stan ten może powodować deformację własną masy, a w niekorzystnych warunkach nawet destrukcję rdzeni czy form.



Rys. 1. Wpływ octanu sodu na wytrzymałość na zginanie masy ze szkłem wodnym utwardzonej utwardzaczem flodur [2].



Rys. 2. Wpływ octanu sodu na ścieralność masy ze szkłem wodnym utwardzonej utwardzaczem flodur [2].

Przedstawione wyniki badań wytrzymałości oraz ścieralności badanych mas (rys. 1-2) wykazały wysoką szkodliwość octanu sodu ($\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Z badań wynika, że graniczna zawartość octanu sodu w regeneracji nie powinna przekraczać 0,10%. Stosując nawet bardzo efektywne systemy regeneracji trudno będzie jednak ten warunek spełnić, dlatego podjęto próby opracowania nowej generacji utwardzaczy estrowych.

W kilku poprzednich publikacjach autorzy [2-5] przedstawili badania z zastosowaniem opracowanych przez autorów nowych utwardzaczy estrowych do sypek mas samoutwardzalnych ze szkłem wodnym. Nowe utwardzacze oparte są o estry kwasu węglowego. Z danych literaturowych [1] wynika, że powstający w wyniku reakcji szkła wodnego z estrem kwasu węglowego, węglan sodu nie jest związkiem tak szkodliwym w regeneracji jak octan sodu. Badania wykazały, że nowy utwardzacz znacznie poprawia jakość piasków regenerowanych metodami mechanicznymi.

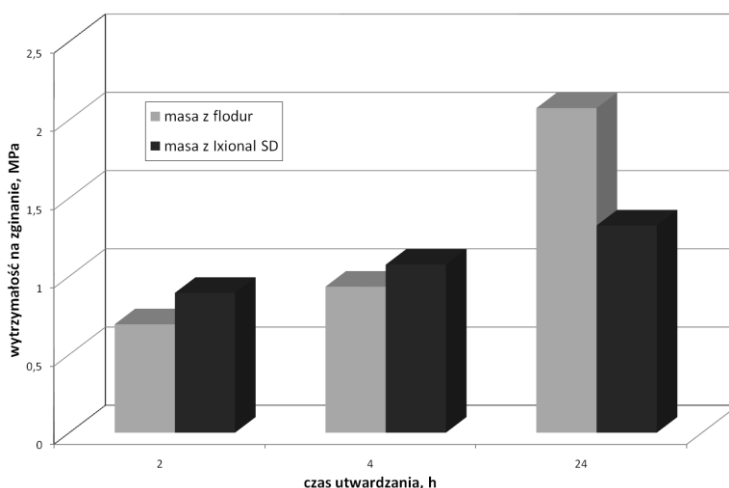
1. Badania właściwości technologicznych mas z utwardzaczem Ixional SD

W ramach badań opracowano nowy utwardzacz estrowy (oparty o estry kwasu węglowego), określono jego wpływ na szerokie spektrum właściwości technologicznych mas ze szkłem wodnym [2-4]. W ramach niniejszej publikacji przedstawiono badania wytrzymałości na zginanie oraz żywotność mas z nowym utwardzaczem. Nowy utwardzacz występuje pod nazwą Ixional SD. Wyniki badań porównywano z wynikami uzyskanymi dla masy utwardzanej utwardzaczem flodur, opartym o estry kwasu octowego.

Badaniom poddano masy o następującym składzie:

piasek kwarcowy	100 cz.wag.
szkło wodne 145	3 cz.wag.
flodur 3/Ixional SD	0,3 cz.wag.

Wyniki badań przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Porównanie wpływu czasu utwardzania na wytrzymałość na zginanie masy utwardzanej utwardzaczem flodur i Ixional SD [2-4].

Z przedstawionych wyników badań wynika, że zastosowanie nowego utwardzacza zwiększa kinetykę procesu utwardzania mas z tym utwardzaczem [5]. A zatem utwardzacz Ixional SD należy zaliczyć do utwardzaczy „szybkich”. Ma to zalety, ponieważ uzyskano wyższą wytrzymałość po 2 i 4 h utwardzania. Niestety konsekwencją tego jest nieco niższa

wytrzymałość masy po 24 h utwardzania. Przy wysokich temperaturach /np. latem/ lub w przypadku gdy masa wymaga długiej żywotności, wiązanie to może okazać się za szybkie. Dlatego też przeprowadzono dodatkowe badania z zastosowaniem specjalnego spowalniacza. Rolę takiego spowalniacza będzie pełnił trioctan gliceryny – w opisie badań nazywany skrótowo: trioctanem [5].

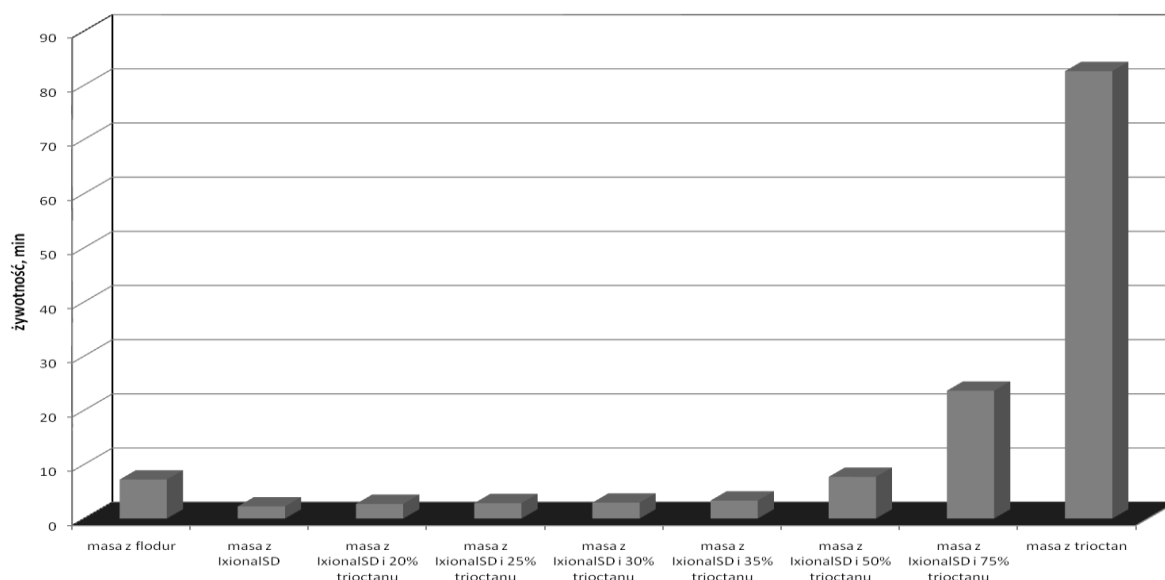
Badaniom poddano masy o następującym składzie:

piasek kwarcowy	100 cz.wag.
szkło wodne 145	3 cz.wag.
utwardzacz	0,3 cz.wag.

(lub utwardzacz i spowalniacz)

Udział spowalniacza (trioctan) w utwardzacz (Ixional SD) zmieniano w zakresie od 0 do 100% trioctanu w ogólnej ilości utwardzacza (tj. Ixional SD+ trioctan).

Na rysunku 4 przedstawiono końcowe wyniki pomiarów żywotności mas z utwardzaczem Ixional SD i zmienną ilością trioctanu gliceryny jako spowalniacza. Wyniki otrzymano metodą, w której żywotność definiuje się jako czas odstawania, po którym wytrzymałość masy spadnie o 30% [5].

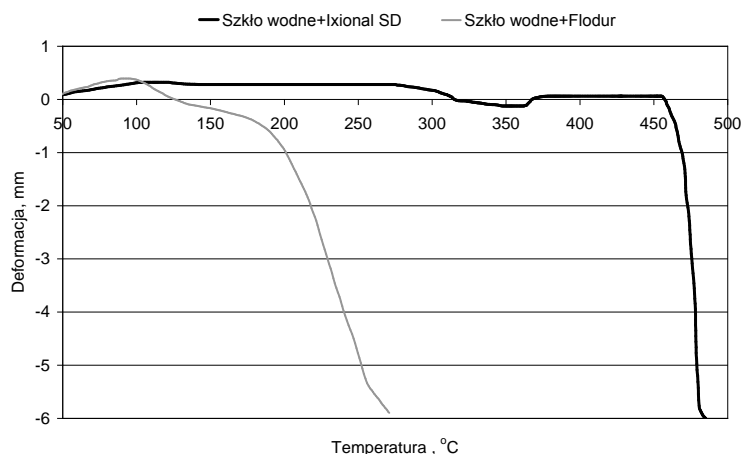


Rys. 4. Wpływ dodatku trioctanu gliceryny na zmianę żywotności mas utwardzanych utwardzaczem Ixional SD [5].

Z wykresu wynika, że dodatek trioctanu do masy ze szkłem wodnym utwardzanej utwardzaczem Ixional SD pozwala na sterowanie żywotnością masy od około 2 min aż do ponad 82 min, gdy 100% utwardzacza stanowi trioctan. Jak widać na rysunku 4 dodatkiem trioctanu można skutecznie regulować proces wiązania. W oparciu o przeprowadzone badania można zatem prognozować szybkość wiązania masy i wytrzymałości uzyskiwane w odpowiednich przedziałach czasowych. Należy jednak pamiętać, że dodatek do utwardzacza trioctanu gliceryny powoduje wprowadzenie do masy szkodliwego octanu sodu [5].

2. Skłonność masy z utwardzaczem Ixional SD do deformacji cieplnej

Ocenę wpływu nowego utwardzacza na zachowanie się masy w podwyższonych temperaturach przeprowadzono za pomocą parametru hot distortion. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Porównanie deformacji cieplnej mas ze szkłem wodnym utwardzonych utwardzaczem flodur i utwardzaczem Ixional SD.

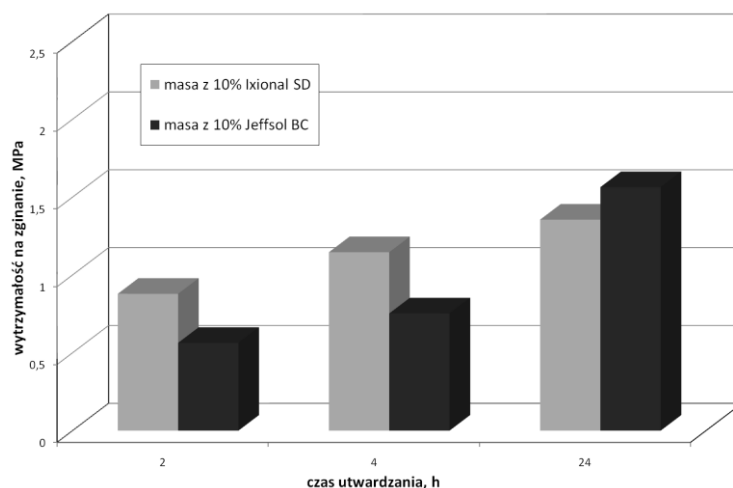
Deformacja cieplna masy utwardzonej utwardzaczem flodur zdecydowanie odbiega swoim przebiegiem od masy utwardzonej utwardzaczem Ixional SD. Zastosowanie nowego utwardzacza powoduje znaczne wydłużenie czasu deformacji masy, co oznacza większą odporność masy na deformację cieplną, przy stwierdzonej lepszej wybijalności [2]. Jednocześnie masa z nowym utwardzaczem charakteryzuje się mniejszym stopniem odkształcenia.

3. Badania właściwości mas z utwardzaczem Jeffsol BC

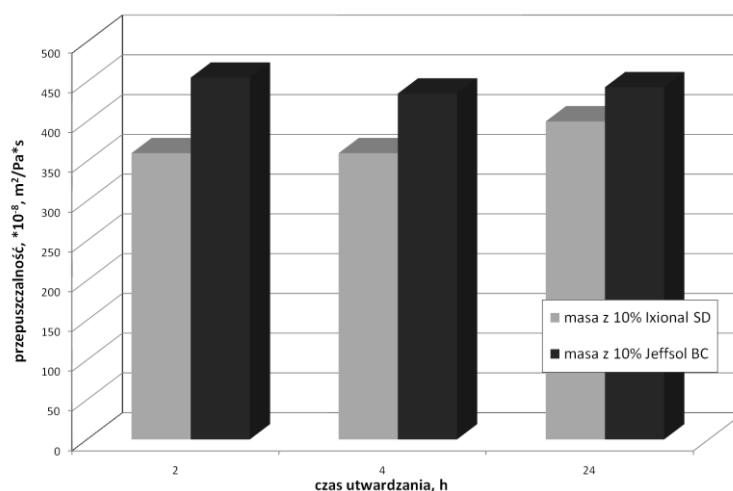
Wykazana krótka żywotność mas utwardzanych utwardzaczem Ixional SD spowodowała potrzebę poszukiwania kolejnego utwardzacza do mas ze szkłem wodnym. Stąd – w wyniku przeprowadzonych analiz i badań – powstała propozycja zastosowania nowego utwardzacza, opartego o nowy ester, który podobnie jak Ixional SD nie wprowadza do masy szkodliwego octanu sodu [7]. Nowy utwardzacz, nazwany wstępnie Jeffsol BC, powinien zapewnić znacznie wolniejsze wiązanie masy, a zatem dłuższą żywotność.

Na rysunkach 6 - 8 przedstawiono porównanie wybranych właściwości technologicznych mas ze szkłem wodnym utwardzanych utwardzaczami Ixional SD i Jeffsol BC. Badaniom poddano masy o następującym składzie:

piasek kwarcowy	100 cz.wag.
szkło wodne 145	3 cz.wag.
utwardzacz	0,3 cz.wag.



Rys. 6. Wpływ czasu utwardzania na wytrzymałość na zginanie mas utwardzanych utwardzaczami Ixional SD i Jeffsol BC [7].



Rys. 8. Wpływ rodzaju utwardzacza (Ixional SD i Jeffsol BC) na ścieralność mas [7].

Na rysunku 6 widać, że masa utwardzana utwardzaczem Jeffsol BC osiąga niższą wytrzymałość po 2 i 4 h niż masa utwardzana Ixionalem SD. Jej wytrzymałość po 24 h jest natomiast wyższa. Oznacza to, że nowy utwardzacz jest utwardzaczem znacznie „wolniejszym”, a przy tym pozwala na otrzymywanie wyższych wytrzymałości [7].

Nowy utwardzacz poprawia także nieco przepuszczalność masy (rys.7). Masa utwardzana utwardzaczem Jeffsol BC wykazuje ponadto – co bardzo ważne w tych masach - znacznie niższą ścieralność. (rys. 8) [7].

*Badania finansowane z funduszy MNiSzW w ramach pracy statutowej
nr 11.11.170.318 zad. 3.*

Literatura

- [1] Jelínek P., Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí, Ostrava 2004.
- [2] Dobosz St.M, Major-Gabryś K., Samoutwardzalne masy ze szkłem wodnym i nowym utwardzaczem estrowym, Inżynieria Materiałowa, nr 3, (151) Rok XXVII, 576-579, (2006).
- [3] Dobosz St.M, Major-Gabryś K., New aspects in applying the moulding sands with water glass, Materials Engineering SK, Vol. 13, No. 3, 14-17, (2006).
- [4] Major-Gabryś K., Dobosz St.M., Alternatywny utwardzacz estrowy do mas ze szkłem wodnym, Mat. XXXI Konferencji Naukowej „Nowoczesne technologie w odlewnictwie, AGH, 33-38, (2007).
- [5] Dobosz St.M., Major-Gabryś K., The mechanism of improving the knock-out properties of moulding sands with water glass, Archives of Foundry, Vol. 8, Issue 1/2008, 37-42, (2008).
- [6] Dobosz St.M., Major-Gabryś K., Moulding sands with water glass with increased ability to reclamation, Archives of Foundry, Vol. 8, Special Issue 1/2008, 67-70 (2008).
- [7] Major-Gabryś K., Dobosz St.M., A New ester hardener for moulding sands with water glass having slower activity, Archives of Foundry Engineering, Vol. 9, Issue 4/2009, s.125-128, (2009).

OZNACZANIE ZAWARTOŚCI MONTMORILLONITU W BENTONITACH ODLEWNICZYCH

Mariusz HOLTZER¹
Artur BOBROWSKI²
Beata GRABOWSKA³

Streszczenie

Głównym celem pracy było porównanie i ocena przydatności wyników ilościowych analiz zawartości montmorillonitu w bentonitach stosowanych w odlewnictwie. Przeprowadzono badania trzema technikami: metodą adsorpcji błękitu metylenowego (BM), metodą adsorpcji kompleksu Cu(II)-trietylenotetraaminy (Cu(II)-TET), oraz metodą spektroskopii w podczerwieni (FTIR). Badania wykonano dla 9 gatunków bentonitów pochodzących od różnych producentów. Jako wzorzec zastosowano: German VDG Ref. Bentonite (Bavarian) o następujących właściwościach: adsorpcja błękitu metylenowego 360 mg/g; CEC 70,04 mmol/l, 75% montmorillonitu. Uzyskane wyniki wykazały, że metodą FTIR z reguły uzyskuje się wartości niższe nawet o 10% niż w pozostałych metodach. Najlepszą korelację z wynikami podanymi przez producentów uzyskano dla metody Cu(II)-TET. Metoda ta charakteryzowała się również najniższymi wartościami odchyłań standardowych. Bardzo istotną zaletą metody Cu(II)-TET jest znacznie krótszy czas analizy oraz łatwiejsze jej wykonanie, co ma istotne znaczenie w warunkach produkcyjnych. Dlatego też wydaje się celowe wprowadzanie tej metody w krajowych odlewniach.

Wprowadzenie

Aktualnie około 70-80% produkcji odlewów ze stopów żelaza wykonywanych jest w masach z bentonitem. W procesie odświeżania mas z bentonitem w warunkach odlewni niezbędna jest informacja o ilości aktywnego bentonitu w masie po wybiciu odlewu. To decyduje o ilości dodawanego świeżego bentonitu do masy, a tym samym ma wpływ na jej właściwości technologiczne oraz koszty procesu odświeżania [1]. Standardowa metoda oznaczania zawartości aktywnego bentonitu w masie formierskiej, w krajowych odlewniach i w większości odlewni europejskich, jest znormalizowana i opiera się na pomiarze ilości zaadsorbowanego błękitu metylenowego [2]. Jest to metoda bardzo pracochłonna, wymagająca dużo czasu na wykonanie oznaczenia. Uzyskane wyniki ilości aktywnego bentonitu technolog otrzymuje dopiero po kilku godzinach od wprowadzenia odświeżonej masy do obiegu. Ma to szczególnie duże znaczenie w przypadku zróżnicowanej produkcji odlewów (szczególnie dotyczy to masy odlewów), co powoduje różny stopień przepalenia masy, a tym samym zmienne ilości nieaktywnego bentonitu w całej objętości masy. Dlatego wiele firm zajmujących się produkcją bentonitów lub mieszanek bentonit – nośnik węgla błyszczącego dla odlewnictwa prowadzi intensywne prace nad opracowaniem wiarygodnej, a zarazem szybkiej metody oznaczania ilości aktywnego bentonitu (montmorillonitu) w masach. W tym celu wykorzystuje się m.in. spektrofotometryczną metodę oznaczania przy udziale kompleksu

¹ prof. dr hab., z-ca kierownika Katedry Inżynierii Procesów Odlewniczych, Wydział Odlewnictwa AGH, holtzer@agh.edu.pl

² dr inż., Katedra Inżynierii Procesów Odlewniczych, Wydział Odlewnictwa AGH, arturb@agh.edu.pl

³ dr, Katedra Inżynierii Procesów Odlewniczych, Wydział Odlewnictwa AGH, graboska@agh.edu.pl

Cu(II)-trietylenotetraaminy (Cu(II)-TET), stosowaną w geologii do badania aktywności glin. Metoda ta jest znacznie szybsza od metody adsorpcji błękitu metylenowego i prostsza z punktu widzenia analitycznego. Podejmowane są również próby zastosowania do tego celu metody spektroskopii w podczerwieni (FTIR). Metoda ta pozwala na bardzo szybkie oznaczanie zawartości aktywnego bentonitu, co jest istotne w warunkach produkcyjnych. Jednak posiada ona pewne ograniczenia związane z obecnością domieszek w bentonicie, które mogą zniekształcać końcowy wynik [3-6].

W Katedrze Inżynierii Procesów Odlewniczych Wydziału Odlewnictwa AGH od kilku lat prowadzone są badania w tym zakresie, mające na celu opracowanie odpowiedniej metodyki oraz poprawnej interpretacji uzyskiwanych wyników.

1. Stosowane materiały i metody

Metoda spektrofotometryczna adsorpcji błękitu metylenowego

Metoda ta oparta jest na pomiarze adsorpcji błękitu metylenowego na cząstkach montmorillonitu zawartego w bentonicie [8]. Kation błękitu metylenowego jest łatwo adsorbowany przez gliny, w tym również przez montmorillonit. Proces adsorpcji przebiega w trzech etapach [8]. W pierwszym etapie, kationy błękitu metylenowego tworzą monowarstwę wokół cząstek gliny. Następnie kationy błękitu metylenowego zaczynają zastępować inne kationy, które są obecne na powierzchni gliny (np. sodu lub wapnia w bentonitach). Kationy błękitu metylenowego mogą być adsorbowane również fizycznie na powierzchni gliny, jednak ze względu na duże rozmiary tych kationów, adsorpcja fizyczna ma mniejsze znaczenie. Pomiar adsorpcji prowadzono przy zastosowaniu spektrofotometru VIS ODYSSEY DR/2500 z automatyczną kalibracją długości fali firmy HACH, przy długości fali 470 nm. Wynik podawany jest jako ilość mg błękitu metylenowego zaadsorbowanego przez 1 gram badanej próbki. Stosowano następujące odczynniki: tetra-sodu pirofosforan (prod. SIGMA), błękit metylenowy (prod. CHEM), woda demineralizowana.

Metoda adsorpcji kompleksu Cu(II) – trietylenotetraaminy (Cu-TET)

Metoda ta polega na pomiarze adsorpcji kompleksu miedziowego na cząstkach montmorillonitu zawartego w bentonicie [7,10].

Pomiar adsorpcji prowadzono przy wykorzystaniu tej samej aparatury co w przypadku metody błękitu metylenowego, ale przy długości fali 620 nm. Wynik podawany jest jako zużycie kompleksu Cu(II)-TET w mmol/l, a następnie przeliczany na zdolność wymiany kationowej CEC (mmol/100 g). Stosowano następujące odczynniki: siarczan miedzi (VI), bezwodny do analizy (prod. MERCK), trietylenotetraamina cz. >97% (prod. FLUCKA), woda demineralizowana.

Metoda spektroskopii w podczerwieni (FTIR)

Spektroskopia w podczerwieni należy do metod analitycznych pozwalających na badanie próbek w stanie stałym, ciekłym i gazowym. Wybór odpowiedniej techniki pomiarowej dla danej próbki zależy od celu jaki stawiamy przed tą metodą: analiza jakościowa czy ilościowa, wielkość próbki, stan skupienia próbki oraz możliwość wzajemnego oddziaływania składników analizowanej próbki.

Dla minerałów zawierających montmorillonit pasmo charakterystyczne SiO występuje przy liczbie falowej około 1040 cm^{-1} . Drgania grup OH wykazują maksimum przy liczbie falowej około 3630 cm^{-1} . Dla określenia zawartości montmorillonitu analizowano wzajemne relacje intensywności (wysokości pików) pasm oraz pól powierzchni pod pasmem związanym z drganiami rozciągającymi Si-O w stosunku do pasma związanego z obecnością drgań rozciągających grup OH [11]. Na rysunku 1 przedstawiono typowe widmo bentonitu otrzymane techniką FTIR.

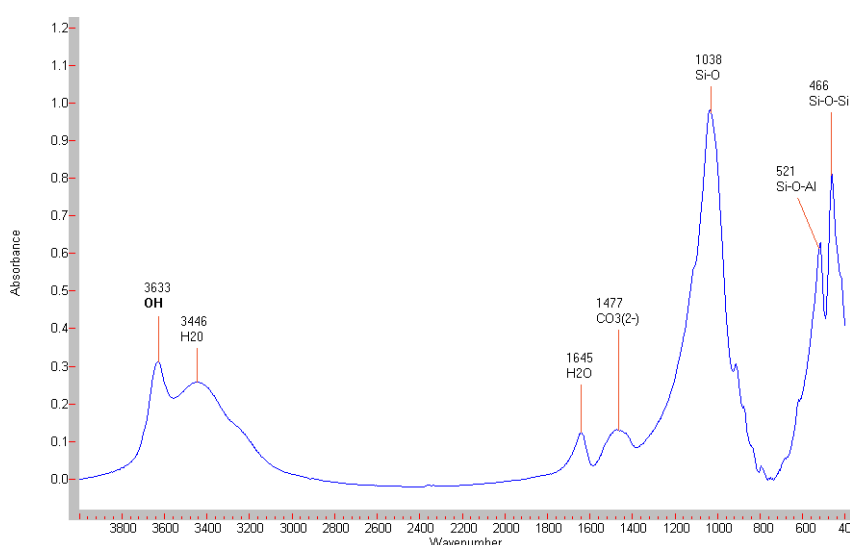
Do analizy ilościowej uzyskanych widm zastosowano dwie metody:

1. Wyznaczanie relacji pomiędzy intensywnością pasm Si-O i O-H
2. Wyznaczenie relacji pomiędzy polami powierzchni pod pasmami Si-O i O-H

2. Materiały stosowane do badań

Do badań użyto bentonity pochodzące od różnych producentów, w większości stosowane w krajowych odlewniach:

- S&B Industrial Minerals: Bentonite S, Bentonite E;
- Süd-Chemie: Geko B, Geko S, Geko Optimum;
- CETCO Szczytno: bentonit A, bentonit B, bentonit C;
- ZGH Żębiec: bentonit Specjal;
- wzorzec: German VDG Ref. Bentonite (Bavarian) – adsorpcja błękitu metylenowego 360 mg/g; CEC 70,04 mmol/l, 75% montmorillonitu.



Rys. 1. Typowe widmo bentonitu uzyskane metodą spektroskopii w podczerwieni

3. Wyniki i ich omówienie

W zbiorach wyników oznaczeń montmorillonitu (dla każdej próbki wykonano 6-10 pomiarów dana metodą) otrzymanych każdą z trzech metod obliczono: średnie arytmetyczne \bar{x} , odchylenie standardowe s i względne odchylenie standardowe v . Badania wzajemnej zależności średnich wyników oznaczeń montmorillonitu wykonanych różnymi metodami przeprowadzono za pomocą analizy korelacji liniowej.

W tabeli 1 zestawiono własne wyniki oznaczeń zawartości montmorillonitu w analizowanych próbkach bentonitu, oraz wyniki otrzymane od producentów tych bentonitów.

Porównanie precyzji oznaczeń montmorillonitu różnymi metodami wykazało jeszcze większe różnice niż porównanie wielkości średnich. Względne odchylenie standardowe wyników metody spektroskopii IR wahało się w granicach 1,4 do 12,7%, metody BM zwykle nie przekraczało 2%, wyjątkowo powyżej 4% (dla Bentonite E), a metody Cu(II)-TET do 1,5% (wyjątkowo powyżej 2%) przy małych zawartościach montmorillonitu.

Przyczyną słabej korelacji wyników uzyskanych metodą FTIR z wynikami otrzymanymi innymi metodami może być zależność tej metody od wielkości cząstek w analizowanych próbkach, jak również obecność zanieczyszczeń (np. skalenie, kaolinit, mulit), które mogą zaburzać analizy metodą FTIR.

Tabela 1. Zawartości montmorillonitu w bentonitach uzyskane różnymi metodami

Nr	Próbka	Zawartość wody (110°C), %	Zawartość montmorillonitu, %				
			Dane producenta	Metoda błękitu metylenowego BM	Metoda kompleksu Cu(II)-TET	Metoda FTIR (wysokość pików)	Metoda FTIR (pole powierzchni)
1	Bentonite S	9,65	91	94	91	84	80
2	Bentonite E	9,01	74	76	71	72	69
3	Geko B	7,30	71	71	69	77	73
4	Geko S	11,0	88	84	88	83	84
5	Geko Optimum	13,88	96	91	92	87	84
6	Bentonit A	9,44	88	92	87	75	83
7	Bentonit B	8,97	84	81	83	75	66
8	Bentonit C	9,47	66	71	65	70	64
9	Specjal	8,50	80	78	83	60	54
10	Wzorzec	-	75	-	-	-	-

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych szerokich badań w zakresie określania zawartości montmorillonitu w bentonitach odlewniczych różnymi metodami, można stwierdzić, że:

1. Metoda adsorpcji kompleksu Cu(II)-TET może być w pełni wykorzystana do oznaczania ilości montmorillonitu w bentonitach odlewniczych. Jest to metoda znacznie krótsza (2-3 razy) od metody stosowanej dotychczas, opartej na pomiarze adsorpcji błękitu metylenowego. Równocześnie daje ona wyniki, które bardzo dobrze korelują z wynikami podawanymi przez producentów bentonitów. Dlatego wydaje się celowe wdrożenie tej metody w krajowych odlewniach.
2. Metoda spektroskopii w podczerwieni (FTIR), oparta zarówno na pomiarze intensywności pasm jak i pól powierzchni, może być ewentualnie stosowana do oznaczania mniejszych zawartości montmorillonitu (70-75%), ze względu na to, że w bentonitach znajdują się substancje, które zaburzają otrzymywane widmo. Metoda ta może być wykorzystana raczej do analiz porównawczych tego samego gatunku bentonitu.

Autorzy deklarują swoją pomoc przy wdrażaniu metody kompleksu Cu(II)-TET w zakładach produkujących bentonity oraz w odlewniach.

Podziękowanie

Autorzy dziękują firmom: S&B Industrial Minerals, Süd-Chemie, CETCO Poland Sp. z o.o. Szczytno i ZGH Zębice S.A. za dostarczone do badań próbki bentonitów, a Panu C. Grefhorst z firmy S&B Industrial Minerals również za pomoc przy wdrażaniu metody kompleksu Cu(II)-TET

*Praca finansowana w ramach projektu badawczego MNiSW Nr N N507 370835
realizowanego w latach 2008-2010.*

Literatura

- [1] LaFay V.S., Neltner S.L., Grefhorst C.: Future Performance Expectations for Foundry Bentonite. AFS Transactions 2009, vol. 117, (2009).
- [2] Polska Norma Branżowa: Oznaczanie zawartości montmorillonitu, BN-77, 4024-16.
- [3] Bobrowski A.: Charakterystyka bentonitów i pyłów z suchego odpylania mas z bentonitem metodą spektroskopii w podczerwieni, III Krakowska Konferencja Młodych Uczonych, 2008, pp. 61-65.
- [4] Paluszkiwicz C., Holtzer M., Bobrowski A.: FTIR analysis of bentonite in moulding sands. Journal of Molecular Structure, vol. 880, 1-3, 2008, pp. 109-114.
- [5] Madejová J.: FTIR techniques in clay mineral studies, Vibrotional Spectroscopy 31, 2003, pp.1-10.
- [6] Tyagi B., Chudasama C. D., Jasra, R. V.: Determination of structural modification in acid activated montmorillonite clay by FTIR spectroscopy, Spectrochimica Acta, Part A 64, 2006, pp. 273-278.
- [7] Bindernagel I., Granitzki K.-E., Orths K.: Schnellverfahren zur Bestimmung der Methylenblauadsorption auf der Oberfläche von montmorillonitgehaltigen Tonmineralien. Giesserei, 25.Juli 1963, 50. Jahrgang, Heft 15, 457-460
- [8] Worrall W.E.: Clays – Their Nature, Origin and General Properties, London 1968, Maclaren and Sons.
- [9] Kahr G.: Methoden zur Bestimmung des Smektitgehaltes von bentoniten, Jahrestagung der DTTG Greifswald, 1998, pp. 163-172.
- [10] Meier L. P., Kahr G.: Determination of the Cation Exchange Capacity (CEC) of Clay minerals using the complexes of copper (II) ion with triethylenetetramine and tetraethylenepentamine, Clays and Clay Minerals, vol. 47, No. 3, 1999, pp. 386-388.
- [11] Holtzer M., Grabowska B., Bobrowski A., Żymankowska-Kumon S.: Methods of the montmorillonite content determination in foundry bentonite. Archives of Foundry Engineering v. 9, Issue 4/2009, 69-72.

NOWA TECHNOLOGIA PRODUKCJI WYSOKOJAKOŚCIOWEGO BENTONITU ODLEWNICZEGO Z WYKORZYSTANIEM WYSELEKCYJONOWANYCH FRAKCJI POWSTAJĄCYCH PRZY WYTWARZANIU SORBENTÓW

Franciszek PEZARSKI¹
Aleksander PALMA²
Irena IZDEBSKA-SZANDA³
Jerzy MOTYKA⁴

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań zgromadzone przy opracowywaniu technologii produkcji wysokojakościowego bentonitu dla odlewnictwa, produkowanego wspólnie z sorbentami dla zoologii i ekologii. Podczas produkcji sorbentów powstaje pewna ilość wysokojakościowego bentonitu, która jest odseparowywana dla produkcji bentonitów odlewniczych. Przedstawiono wyniki badań frakcji przewidzianych do wykorzystania do produkcji bentonitu odlewniczego. Przedstawiono wyniki prób produkcyjnych bentonitu z dodatkiem frakcji pochodzących z produkcji sorbentów. Do produkcji bentonitu zastosowano instalację do mielenia z młynem misowo-kołowym oraz instalacją precyzyjnego dozowania składników mielenia. Zamieszczono wyniki badań właściwości technologicznych wytwarzanych wg nowej technologii produkcji oraz charakterystykę otrzymanych partii bentonitu oraz scharakteryzowano możliwość jego zastosowania do wykonania form.

Wprowadzenie

Firma PTH CERTECH sp. j. zajmuje się produkcją sorbentów bentonitowych między innymi dla branży zoologicznej, przemysłu wiertniczego, których bazą surowcową jest bentonit surowy (kopalina). W trakcie procesu technologicznego produkcji sorbentów higienicznych dla zwierząt powstają wyselekcjonowane frakcje bentonitu o granulacji poniżej 1 mm w ilości ok 3,5 tys. ton rocznie.

Te wyselekcjonowane frakcje charakteryzują się zróżnicowaną granulacją i składem chemicznym w większości przypadków zbliżonymi do wymagań dla bentonitu odlewniczego, a jego zagospodarowanie przy produkcji sorbentów stanowi duży problem. Wyselekcjonowane drobne frakcje były dotychczas poddawane ponownemu przerobowi na linii sorbentów kosztem dodatkowego zużycia energii, komponentów, robocizny, oraz kosztów zakładowych. Badania wstępne przeprowadzone przy współpracy z Instytutem Odlewnictwa wykazały, że te frakcje pylaste z uwagi na dużą zawartość montmorylonitu i rozdrobnienie stanowią mogą cenne składniki do produkcji bentonitu odlewniczego.

W związku z tym Firma PTH CERTECH sp. j. wspólnie z Instytutem Odlewnictwa w Krakowie, w ramach projektu celowego ROW-II-235/2007 podjęła się opracowania, przebadania i wdrożenia innowacyjnej technologii produkcji bentonitu mielonego,

¹ mgr inż., Instytut Odlewnictwa Kraków

² mgr inż., Instytut Odlewnictwa Kraków

³ dr inż., Instytut Odlewnictwa Kraków

⁴ PTH CERTECH Sp.j. w Niedomicach

przeznaczonego dla odlewnictwa, z wykorzystaniem surowca suszonego i tych wyselekcjonowanych frakcji powstających przy produkcji sorbentów bentonitowych. Do produkcji bentonitu odlewniczego zaplanowano wykorzystanie infrastruktury produkcyjnej PTH CERTECH sp. j. uzupełnionej w trakcie realizacji projektu o instalację do ujednorodniania bentonitu, instalację odpylania i transportu pneumatycznego, urządzenia do pakowania oraz niezbędną aparaturę kontrolno pomiarową do badania bentonitu odlewniczego.

Firma CERTECH zajmuje się produkcją bentonitów od 1996 r. na bazie surowców ze złóż słowackich. Od 2006 roku posiada większościowy pakiet w firmie eksploatującej bentonity w nowo uruchomionej kopalni. Od samego początku eksploatacji przyjęto zasadę selektywnej eksploatacji złoża. Dzięki temu jest możliwość pozyskania bardzo jednorodnego materiału do ściśle określonych aplikacji w gospodarce. Już na złożu, bentonit jest klasyfikowany przez selektywną eksploatację poprzedzoną wcześniejszym obmiarem oraz identyfikowaniem jego właściwości.

W ostatnich dwudziestu latach zmieniła się nieco struktura produkcji bentonitów. W całej masie produkowanych bentonitów i kompozytów bentonitowych ok. 30% stanowią bentonity stosowane jako sorbenty pochłaniające. Cechy jakościowe tych produktów są takie, że wymagają użycia ściśle określonego sortymentu ziarnowego oraz odpowiednio stabilnej jakości surowca. Pozostający w produkcji sorbentów, nierozpadający się bentonit wykazuje najwyższe parametry ze wszystkich sortów ziarnowych i można z niego uzyskać wysokiej jakości bentonity odlewnicze. Bentonity odlewnicze wymagają surowca o wysokiej zawartości montmorylonitu oraz dużej wytrzymałości na ściskanie. Złoże Kopernica cechujące się zawartością montmorylonitu powyżej 90%, zlokalizowane jest w regionie Bańska Bystrica w miejscowości Kopernica na Słowacji. W ramach projektu celowego ROW-II-235/2007 zrealizowanego przez IO Kraków oraz CERTECH opracowano i wdrożono technologię produkcji bentonitu odlewniczego w zintegrowanej technologii umożliwiającej produkcję między innymi wysokojakościowego bentonitu odlewniczego oraz innych produktów jednocześnie. Proces mielenia odbywa się na nowoczesnej instalacji z młynem misowo-kołowym wraz z separacją powietrzną. Instalacja umożliwia mieszanie różnych bentonitów celem uzyskania najlepszych parametrów produktu, wprowadzanie na zasadzie współmielenia dodatków uzupełniających, i ulepszających. Najważniejszą cechą instalacji jest możliwość precyzyjnego kontrolowania parametrów procesu takich jak przemiał, wilgotność oraz skład produktu końcowego.

1. Badania materiałów wyjściowych i próby doświadczałne wytwarzania bentonitu odlewniczego

Materiałem wyjściowym do prób wytwarzania bentonitu surowego był bentonit suszony ze złoża Kopernica i Kremnica, oraz kombinacja tych materiałów, które towarzyszą produkcji sorbentów. Do produkcji wykorzystano również wysokojakościowe frakcje bentonitu pochodzące z procesu produkcji sorbentów. Dla użytkownika produktu nie jest istotne jakie są metody technologiczne wytwarzania produktu lecz jakie osiągnięto efekty końcowe.

Badania laboratoryjne wykazały, iż wymagane normą parametry bentonitu można będzie uzyskać używając do produkcji bentonity ze złóż Kremnica, Kopernica lub Kopernica + Kremnica (50/50). Dodatkowo zbadano, że powstające w procesie suszenia nadziarno bentonitu (frakcja powyżej 5mm) posiada bardzo wysoką koncentrację montmorylonitu powyżej 85%. Wykorzystanie tej frakcji ziarnowej pozwoliło uzyskać

bentonit o bardzo dobrych parametrach technologicznych. Ponieważ technologia mielenia w młynach misowo-kołowych umożliwia dosuszenie, badania prowadzono pod kątem wykorzystania tej operacji w procesie docelowym i badania laboratoryjne prowadzono w takim toku.

W wyniku przeprowadzonych prób ustalono doświadczalną technologię produkcji wysokojakościowego bentonitu, dla odlewnictwa na bazie surowca bentonitu suszonego i wyselekcjonowanych frakcji uzyskiwanych między innymi przy wytwarzaniu sorbentów higienicznych, w której wyróżnić można następujące etapy:

Etap 1 – składowanie surowca na placu magazynowym

Bentonit dostarczany do zakładu jest identyfikowany już w złożu w kopalni. Pomimo tego z każdego samochodu pobierane są próby dla wykonania badań jakościowych tzw. systemowej kontroli dostaw. Materiał na składowisku składowany jest w pasach, co umożliwia jego identyfikację na każdym etapie produkcji.

Stwierdzenie w dniu następnym niezgodności z założoną jakością umożliwia zmianę jego klasy. Identyfikacja dostaw polega na badaniu wilgotności, zawartości montmorylonitu, zapiaszczenia, identyfikacja koloru w celu określenia przedziału składników istotnych dla danej aplikacji np. zawartości żelaza, arsenu, ołowiu (istotne dla produktów specjalnych.) Ponadto gromadzenie surowca odbywa się sektorowo, tak aby spełnić warunek używania w produkcji zasady „pierwsze przyszło, pierwsze wyszło.”

Badanie systematyczne surowców pozwala na wypracowanie oraz doskonalenie metod statystycznych dla oceny surowców. Surowce składowane są na placach o nawierzchni betonowej posiadających odpowiednie odwodnienie.

Etap 2 – aktywacja bentonitu

Najistotniejszą operacją technologiczną w całym procesie jest aktywacja – kontrolowana wymiana jonowa, jonów wapnia na jony sodu. Kontrolowanie wymiany jonowej można prowadzić najskuteczniej na jednorodnym materiale, lub zachowując ciągły pomiar stopnia wymiany jonowej. Skuteczność procesu realizowana jest w CERTECH przez system ciągłego pomiaru zawartości aktywatora w sprzężeniu zwrotnym z pomiarem pH roztworu wodnego aktywowanego bentonitu. Cały system oparty jest o system kalibracji aktywacji dla poszczególnych warstw złożowych, wilgotności surowca, zawartości MNT, które wyróżniają cechy znamienne dla bentonitu. Istotna dla procesu, kinetyka reakcji wymiany jest jednym z ważniejszych parametrów-punktem krytycznym procesu.

Etap 3 – suszenie bentonitu

Bentonit należy do minerałów wrażliwych na temperaturę płomienia. Dlatego też należy unikać takiego kontaktu w procesie suszenia, przez zastosowania pośrednich źródeł energii bądź zastosowanie obwodowego przepływu spalin. Tylko w warunkach zastosowania tego typu rozwiązań udaje się odpowiednio prowadzić proces suszenia. W suszarniach wykorzystano przemysłowe palniki modulowane temperaturą oraz ciśnieniem atmosfery pieca. Pozwala to bardzo precyzyjnie prowadzić proces suszenia niekiedy z dokładnością do kilku stopni Celsjusza. Kolejnym ważnym punktem kontroli jest temperatura końcowa produktu wyselekcjonowanego, która nie jest wyższa niż 70°C. W czasie procesu uzyskiwane są frakcje użytkowe niezbędne do aplikacji bezpośrednich bądź dalszego przerobu, a więc frakcje 0-0,4mm, 0,4-0,63mm, 0,63-2,0mm, 1,8-4,0 mm, 0-6,0 mm. Proces jest realizowany na dwóch współpracujących liniach produkcyjnych.

Etap 4 – mielenie bentonitu

Bentonit po wysuszeniu w suszarni bębnowej jest składowany w big-bagach, a następnie dozowany, z dodatkiem wyselekcjonowanych frakcji uzyskiwanych przy wytwarzaniu sorbentów higienicznych dla zwierząt, do młyna misowo-kołowego. Po zmieleniu pył bentonitowy jest transportowany systemem pneumatycznym do cyklonu oraz do filtra workowego, gdzie jest oddzielany od powietrza i przy pomocy przenośników ślimakowych dostarczany do pakowaczek (worków lub big-bagów).

Na fotografii 1 przedstawiono fragment linii produkcyjnej bentonitu odlewniczego (z młynem misowo-kołowym) w firmie PTH CERTECH sp. j.



*Fot. 1 Fragment linii mielenia bentonitu (z młynem misowo-kołowym)
w firmie PTH CERTECH sp.j.*

Nowoczesny system mielenia bentonitu wraz z bardzo precyzyjną linią dozowania składników do współmielenia oparty jest o młyn misowo-kołowy produkowany przez niemiecką firmę PSP Ingeniering oddział w Czechach. W procesie mielenia możliwe jest dozowanie nawet 0,5% dodatku innego materiału bez stwierdzenia zjawiska niehomogeniczności produktu końcowego. Cały system dozowania kontrolowany jest komputerowo wg zadanego programu. Młyn misowo-kołowy będący sercem procesu jest w sposób stały zintegrowany z separatorem powietrznym co zapewnia absolutną kontrolę procesu przemiału. Zastosowany system hydraulicznej kontroli docisku kół mielących pozwala mielić materiał bez szczególnej ingerencji elementów metalowych. Ponad 85% materiału mielone jest poprzez tzw. samomielenie tj. bezpośredni kontakt materiału z sobą ponieważ hydraulika młyna kontroluje szczelinę pomiędzy misą mielącą a mielnikami. Szczelina ta jest dostosowana do średniej wielkości ziarna nadawy, co ma istotne

znaczenie dla optymalizacji procesu unikania „zamielenia” materiału oraz czasu przemiału, który jest istotny dla unikania niszczenia struktury, lub odpowiedniego naładowania ładunkiem elektrycznym bentonitu –odpowiednie prowadzenie procesu. W czasie procesu mielenia kontrolowane są następujące parametry procesowe; przemiał, wilgotność produktu, pH roztworu wodnego, gęstość nasypowa. Każdy z tych parametrów lub ich kombinacja odpowiada za parametry technologiczne produktu. Materiały podawane do procesu mielenia w 100% posiadają identyfikację, poczynając od procesu poboru ze złoża poprzez nadanie odpowiedniego kodu dla produktu końcowego. Cała linia mielenia pracuje na podciśnieniu, przez co zapewniona jest szczelność instalacji oraz higiena procesowa umożliwiająca mielenie produktów również dla przemysłu paszowego.

Istotne parametry technologiczne dla bentonitów odlewniczych kontrolowano w laboratorium CERTECH oraz potwierdzono ich zgodność w IO w Krakowie. Certech dysponuje w pełni wyposażonym laboratorium do badań oraz zapleczem badawczym, sprzętowym i kadrowym do prowadzenia prac badawczych.

W ramach tych badań sporządzono pięć partii bentonitów doświadczalnych o nazwie Monobent przedstawionych w tabeli 1.

Tabela 1 Właściwości technologiczne bentonitów uzyskane w doświadczalnych partiach produktu.

L.p.	Oznaczenie bentonitu	W_b ; [%]	W_m ; [%]	R_c^w ; [MPa]	R_m^w ; [MPa]	P^w ; [J.P.]	S^w ; [%]	R_m^p ; [N/cm ²]	W_p ; [cm ³]
1	Monobent 1	1,50	3,48	0,110	0,0138	255	7,0	0,379	28,42
2	Monobent 2	1,80	3,44	0,090	0,0120	260	8,0	0,341	25,45
3	Monobent 3	6,00	3,51	0,091	0,0137	245	5,0	0,397	31,91
4	Monobent 4	8,20	3,54	0,077	0,0110	254	1,8	0,410	29,94
5	Monobent 5	2,85	3,52	0,081	0,0120	250	4,8	0,319	26,76

Przy podawaniu wyników badań i właściwości technologicznych, wprowadzono następujące oznaczenia parametrów badanego produktu:

- W_b - wilgotność bentonitu
- W_m - wilgotność masy
- R_c^w - wytrzymałość na ściskanie na wilgotno
- R_m^w - wytrzymałość na rozciąganie na wilgotno
- R_m^p - wytrzymałość na rozciąganie w strefie przewilżonej
- P^w - przepuszczalność na wilgotno
- S^w - osypliwość w stanie wilgotnym
- W_p - wskaźnik pęcznienia

W partiach tych bentonitów nie prowadzono procesu separacji w złożu, co widoczne jest w braku stabilności parametrów. Badania te miały ponadto odpowiedzieć na pytanie jak istotna jest jednorodność surowcowa zarówno pod względem „złożowym”

jak

i technologicznym. Różnorodność parametrów fizycznych materiału obrabianego została ustalona celowo dla celów badawczych.

W prezentowanych próbach materiałów stwierdzono widoczny wpływ wilgotności bentonitu na osypliwosć masy wzorcowej. Próby były prowadzone na surowcu z jednej dostawy. Próby potwierdzają konieczność stosowania zwiększonej wilgotności bentonitu – najkorzystniejsze wyniki osiągnięto na próbce Nr.4., który pod nazwą Monobent Extra skierowano do wykonania testowych form i odlewów w odlewni staliwa.

W tabeli 2 podano właściwości fizyko-chemiczne bentonitu Monobent Extra.

Tabela 3 podaje natomiast właściwości technologiczne masy sporządzonej w laboratorium, z bentonitem stosowanym jako lepiszcze do odlewniczych mas formierskich i rdzeniowych. Masa ta sporządzana była w mieszarce krążnikowej na bazie piasku wzorcowego A, z udziałem 7,0 % bentonitu i przy wprowadzeniu takiej ilości wody, aby jej zawartość w masie wynosiła 3,5 % ± 0,1 %

Tabela 2 Właściwości fizyko-chemiczne bentonitu Monobent Extra

Wilgotność bentonitu ; %	Zawartość montmorylonitu ; %		Zawartość węglanów ; %		Wskaźnik pęcznienia cm ³			
8,2	80,0		3,20		29,94			
ANALIZA SITOWA								
L.p.	Nominalny wymiar boku oczka [mm]	Odsiew; [g]	Odsiew rzeczywisty [g]	Odsiew przeliczony [%]	Odsiew; [g]	Odsiew rzeczywisty [g]	Odsiew przeliczony [%]	Średnia aryt. odsiewów przeliczonych [%]
1	0,20	-	-	-	-	-	-	-
2	0,16	0,02	0,02	0,2	0,02	0,02	0,2	0,20
3	0,10	0,08	0,06	0,6	0,07	0,05	0,5	0,55
4	0,071	0,63	0,55	5,5	0,61	0,54	5,4	5,45
5	0,063	1,06	0,43	4,3	1,04	0,43	4,3	4,30
6	0,056	1,40	0,34	3,4	1,40	0,36	3,6	3,50
7	0,040	3,56	2,16	21,6	3,54	2,14	21,4	21,50
8	denko		6,44	64,4		6,46	64,6	64,50
9	suma		10,00	100,0		10,00	100,0	100,00

Tabela nr 3. Właściwości technologiczne masy formierskiej z Monobentem Extra

L.p.	Oznaczenie bentonitu	W _b ; [%]	W _m ; [%]	R _c ^w ; [MPa]	R _m ^w ; [MPa]	P ^w ; [J.P.]	S ^w ; [%]	R _m ^p ; [N/cm ²]	W _p ; [cm ³]
1	Monobent Extra	8,20	3,50	0,077	0,0110	254	1,80	0,410	29,94

2. Badania właściwości fizyko-chemicznych partii bentonitu wytworzonych w warunkach przemysłowych

Weryfikacje opracowanej technologii przeprowadzono wytwarzając kilka partii bentonitu odlewniczego w warunkach przemysłowych. Otrzymano sześć partii bentonitu oznaczonych jako partie 65 do 70. Wykonano następujące badania: oznaczenie zawartości wody w bentonitach, zawartości montmorylonitu i węglanów, przeprowadzenie analizy

sitowej, określenie wskaźnika pęcznienia. Jako przykład w tabeli 4 przedstawiono analizę sitową bentonitu partii 65, a w tabeli 5 właściwości fizykochemiczne uzyskanych bentonitów.

Tabela nr 4. Analiza sitowa bentonitu –partia 65

Nominalny wymiar boku oczka	odsiew przeliczony
mm	%
0,16	0,0
0,063	5,2
0,056	4,5
0,056	90,3
suma	100,00

Przemiał ma istotny wpływ na ocenę parametrów bentonitu. Osiągnięcie zbyt wysokiego przemiału bentonitu może poprawić laboratoryjne parametry, lecz na pewno wpłynie na jego zużycie, gdyż zbyt drobny bentonit jest wyciągany przez wentylację, oraz szybciej się przepala i posiada krótszy czas połowicznej mineralizacji.

Tabela nr 5. Właściwości fizyko-chemiczne bentonitów

Numer Partii bentonitu	Wilgotność bentonitu % obj.	Zawartość montmorylonitu % obj.	Zawartość węglanów % obj.	Wskaźnik pęcznienia cm ³
65	6,4	75	3,6	26,0
66	6,2	78	4,2	29,0
67	6,0	75	3,5	23,0
68	7,7	81	3,0	24,0
69	6,1	80	3,2	24,0
70	6,5	82	3,4	25,0

W tabeli zamieszczono wyniki badań partii produkcyjnych, które nieznacznie różnią się właściwościami surowca wyjściowego do ich produkcji. Badania montmorylonitu prowadzone na bentonitach aktywowanych wykazują obniżony wynik, co jest regułą. Montmorylonit należy badać na próbkach bentonitu surowego, aby potwierdzić wynik. Materiały z prób w okresie rozruchu technologii wskazują na brak koordynacji w zakresie kontroli oraz braku działań statystycznych.

Analizując wyniki dalej stwierdzamy, że analiza sitowa przeprowadzona dla sześciu partii bentonitu uzyskanego w warunkach przemysłowych wg nowej technologii wykazała, że bentonity te są bardzo dobrze zmielone. Przez sito 0,056 mm przechodzi w przypadku wszystkich partiach powyżej 85 % materiału. Należy stosować nieco niższy przemiał, który wpłynie na mniejsze zużycie spoiwa w masie jednolitej.

Zawartość montmorylonitu jest wysoka i wynosi we wszystkich przypadkach powyżej 75 %, natomiast ilość węglanów jest poniżej 5,0 % w granicach od 3,0 % do 4,2 %. Wskaźniki pęcznienia są wysokie i wynoszą od 23 cm³ do 29 cm³, norma zaś przewiduje min 15 cm³. Przedstawione powyżej wyniki badań fizyko-chemicznych świadczą, że bentonit odlewniczy uzyskany w firmie PTH CERTECH sp. j. wg nowej technologii spełnia z zapasem wymogi normy. Zawartości wody we wszystkich partiach mieszczą się w normie gdyż zawierają się w przedziale od 6 –12 %, korzystnie jest utrzymywanie wilgotności na poziomie 6 - 8%. Wiele odlewni przy sporządzaniu mas nie

uwzględnia wody w bentonicie i w związku z tym otrzymują niestabilne masy formierskie. Istotnym zaburzeniem w kulturze stosowania mas jest wprowadzenie pyłu węglowego do masy.

Weryfikację technologii przeprowadzono również oceniając zdolności wiązania bentonitu odlewniczego. Badano właściwości technologiczne bentonitu poprzez ocenę mas formierskich wykonanych z udziałem 7 % bentonitu, zgodnie z normą PN-85/H-11003, przy stosunku wodno-glinowym wynoszącym około 0,5. Wyniki tych badań przedstawiono w tabeli 6. Badano również masy przy różnym stosunku wodno-glinowym od 0,3 do 0,6 w celu lepszego scharakteryzowania bentonitu wytworzonego wg nowej technologii.

Tabela 6. Właściwości wiążące bentonitów

L.p	Oznaczenie próby	W _m [%]	Wytrzymałość, [MPa]			Osypliwość [%]	Przepuszczalność [J.P.]
			R _c ^w	R _m ^w	R _m ^p		
1	Partia 65	3,33	0,075	0,0121	0,375	3,6	241
2	Partia 66	3,38	0,085	0,0148	0,394	2,5	248
3	Partia 67	3,37	0,075	0,0105	0,348	3,0	242
4	Partia 68	3,49	0,075	0,0129	0,424	1,5	243
5	Partia 69	3,5	0,077	0,0123	0,417	1,3	244
6	Partia 70	3,43	0,080	0,0128	0,427	1,2	245

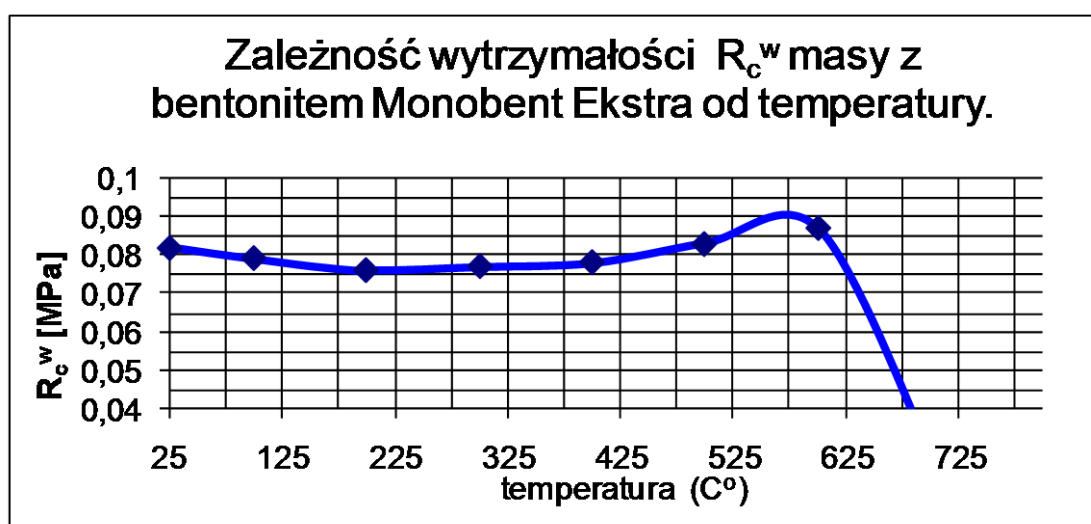
Analizując powyższe wyniki można stwierdzić iż bentonit uzyskiwany według nowej technologii w firmie PTH CERTECH sp. j. posiada bardzo dobre właściwości technologiczne. Proces technologiczny wytwarzania bentonitu jest stabilny gdyż, wyniki poszczególnych partii są porównywalne. Uzyskane właściwości wytrzymałościowe mas są wysokie. Osypliwość poszczególnych partii jest niewielka, a przepuszczalność bardzo wysoka.

Aby lepiej scharakteryzować bentonit przeprowadzone zostały badania trwałości termicznej. Zależność wytrzymałości R_c^w masy z bentonitem Monobent Ekstra od temperatury, przedstawiono w tabeli 7 i wykresie rys 1. Trwałość termiczna mas bentonitowych ma bardzo duże znaczenie technologiczne i ekonomiczne. Masy, które zawierają w sobie bentonit o dużej trwałości termicznej, nie potrzebują częstego odświeżania.

Badania trwałości przeprowadzono poprzez wygrzewanie sporządzonej masy z bentonitem w temperaturach od 100 °C do 700 °C i badaniu właściwości technologicznej masy, która została nawilżona do odpowiedniej wilgotności. Badania wykazały, że temperatura połówkowa, a więc taka przy której wszystkie wartości wytrzymałościowe tracą połowę wartości początkowej jest bardzo wysoka i wynosi 670 °C.

Tabela 7. Wyniki badań trwałości termicznej bentonitu

Bentonit	Parametr	Temperatury nagrzewania ; [° C]						
		temperatura otoczenia	100	200	300	400	500	600
Partia 66	W_m ; [%]	3,31	3,43	3,31	3,40	3,30	3,46	3,43
	R_c^w ; [MPa]	0,082	0,078	0,076	0,077	0,078	0,083	0,087
	R_m^w ; [MPa]	0,0135	0,0125	0,0138	0,0125	0,013	0,0130	0,0104
	R_m^p ; [MPa]	0,374	0,475	0,430	0,450	0,433	0,352	0,191
	S^w ; [%]	2,045	1,88	1,97	2,24	2,44	7,24	10,3

Rys. 1 Zależność wytrzymałości R_c^w masy z bentonitem Monobent Ekstra od temperatury

3. Próby zastosowania partii bentonitu uzyskanego wg nowej technologii do wykonywania form i odlewów

Wytworzoną doświadczalnie partię bentonitu Monobent Extra w ilości ok. 5t skierowano do prób wykonywania form i odlewów w odlewni staliwa.

Do wykonania wytypowano odlew osłony koła napinającego o masie 120 kg. Formy wykonywano w masie klasycznej bentonitowej z dodatkiem dekstryny. Stosowano bentonit Monobent Extra, z którego wykonywano masę przymodelową. Formy wykonywane były poprzez ręczne formowanie i jako dwuwarstwowe tj. z mas przymodelowej i wypełniającej.

Masa przymodelowa wykonywana z Monobentem Extra była o składzie:

- piasek kwarcowy Szczakowa gruby i masa obiegowa 50:50 - 100,0 cz. wag.
- bentonit Monobent Extra 6,5 cz. wag.
- dekstryna żółta 0,5 cz. wag.
- woda 3,0 – 3,5 %

Właściwości technologiczne masy :

$$W_m = 2,90\%; P^w = 400 \text{ J.P.}; R_c^w = 0,060 \text{ MPa}$$

W ocenie przedstawiciele Zakładu właściwości technologiczne masy formierskiej testowej są wysokie i gwarantują uzyskanie odlewów odpowiedniej jakości. Formy wykonywane były w skrzynkach formierskich 1000 x 800 x 250 mm.

Odlewy wykonano ze staliwa węglowego L 500, o masie brutto 250 kg i netto 120 kg każdy. Temperatura zalewania wynosiła 1580°C. Formy wykonywane były jako dwuwneńkowe.

W końcowym etapie realizacji projektu było podjęcie produkcji bentonitu wg nowej technologii w skali przemysłowej. Przemysłowe partie bentonitu odlewniczego zostały wysłane do wybranych odlewni w celu wykonania odlewów.

Próby zastosowania przemysłowych partii bentonitu w wybranych odlewniach zakończyły się pozytywnie. Odlewnie wykorzystując bentonit odlewniczy firmy Certeche otrzymały odlewy bez wad powierzchniowych i o odpowiedniej gładkości. Masy wykonane z bentonitu firmy PTH CERTECH sp. j. charakteryzowały się optymalną przepuszczalnością i wytrzymałością, niską osypliwością, dobrą płynnością i odpowiednią zagęszczalnością. W odlewniach żeliwa bardzo pozytywnie oceniono również spoiwo bentonitowe pod względem trwałości termicznej masy.

Podsumowanie

Produkcja bentonitu odlewniczego w firmie PTH CERTECH sp. j., oparta jest na wykorzystaniu wyselekcjonowanych frakcji powstających przy produkcji sorbentów higienicznych i na bazie surowca bentonitu suszonego.

Kontrola produktu jakim jest bentonit odlewniczy zaczyna się już na etapie przygotowywania i rozdrabniania surowca i pierwszy etap polega na oznaczeniu montmorylonitu, wilgotności, oraz pH. Po drugim etapie oznacza się pH. W trzecim etapie po suszeniu oznacza się wskaźnik pH oraz zawartość wody w materiale.

W trakcie czwartego etapu i po zakończeniu mielenia należy dokonać badań wskaźnika pH, przeprowadzić oznaczenia granulometryczne i wskaźnik pęcznienia. W trakcie tego procesu przerobu materiału w zależności od potrzeb wykonuje się i bada próbne masy formierskie sporządzane na bazie uzyskiwanych półfabrykatów monitorując cały czas, cykl produkcyjny.

W trakcie procesu próbnej produkcji przemysłowej partii bentonitu według nowej technologii został zweryfikowany również system kontroli i oceny końcowego produktu, który doskonale się sprawdził i był wystarczający do pełnej oceny wyprodukowanego bentonitu odlewniczego.

Same badania jak i ich wyniki potwierdziły skuteczność technologii wykorzystywania wyselekcjonowanych frakcji przy wytwarzaniu sorbentów i bentonitu suszonego jako odpowiedniego surowca do produkcji wysokojakościowych bentonitów odlewniczych.

Sprawność technologii oceniono również przeprowadzając próby zastosowania bentonitu w zakładach odlewniczych przy wykonywaniu form i rdzeni. Po wykonaniu prób stwierdzono, że bentonit produkowany w firmie PTH CERTECH sp.j., w pełni spełnia przedmiotowe normy w zakresie jakości jak i właściwości technologicznych mas formierskich klasycznych i mas rdzeniowych sporządzanych z udziałem tych spoiw.

ROZWÓJ PRODUKCJI NOWYCH MATERIAŁÓW „NOŚNIKÓW WĘGLA BŁYSZCZĄCEGO” PRZEZNACZONYCH DO WYKONYWANIA ODLEWÓW ŻELIWNYCH W MASACH FORMIERSKICH BENTONITOWYCH

Zbigniew STEFAŃSKI ¹
Jerzy MOTYKA ²

Streszczenie

W artykule przedstawiono ważniejsze wyniki prac badawczych rozwojowych i wdrożeniowych, zrealizowanych w ramach jednego z Projektów Celowych w roku 2009, w wyniku współpracy pomiędzy Przedsiębiorstwem Techniczno Handlowym CERTECH w Niedomicach (producentem materiałów dla potrzeb odlewnictwa), a Instytutem Odlewnictwa w Krakowie. W ramach projektu opracowano przemysłową technologię i uruchomiono produkcję nowoczesnego zamiennika pyłu węglowego o nazwie „ekomix” oraz mieszanki bentonit- „ekomix” przeznaczone do wykonywania odlewów żeliwnych. Materiały te zostały opracowane w skali laboratoryjnej w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie.

Bardziej szczegółowo w artykule omówiono wyniki badań dotyczących zagadnień ekologicznych związanych ze stosowaniem nowych materiałów, a także wyniki dotyczące wdrożenia nowych materiałów.

Słowa kluczowe: masy formierskie bentonitowe, pył węglowy, zamienniki pyłu węglowego, jakość powierzchni odlewów.

Wprowadzenie

Przedstawione w artykule wyniki badań dotyczą prac badawczo-rozwojowych i wdrożeniowych zrealizowanych w ramach Projektu Celowego pomiędzy Przedsiębiorstwem Techniczno Handlowym CERTECH w Niedomicach (producent materiałów dla potrzeb odlewnictwa), a Instytutem Odlewnictwa w Krakowie, zakończonych w lutym 2009 r. [1]. Prace tego typu są wynikiem rosnących wymagań stawiane wyrobom, w zakresie poprawy ich jakości, wymusza to konieczność ściślejszej współpracy pomiędzy przemysłem, a jednostkami badawczymi. Działania te prowadzą do poszukiwania nowocześniejszych rozwiązań technologicznych, nowych technologii produkcji, a także materiałów odlewniczych, mają na celu obniżenie kosztów produkcji, poprawę jakości wyrobów oraz poprawę ekologii wytwarzania wyrobów.

Planowany projekt wychodził naprzeciw powyższym oczekiwaniom, dotyczył uruchomienia produkcji wysokiej jakości materiałów, to jest nowoczesnego zamiennika pyłu węglowego o nazwie „ekomix” oraz mieszanek bentonit- „ekomix” przeznaczonych do wykonywania odlewów żeliwnych. Materiały te zostały opracowane w skali laboratoryjnej w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie.

Materiał ekomix jest przeznaczony do stosowania w technologii wytwarzania odlewów żeliwnych, w masach formierskich z lepiszczem bentonitowym, w miejsce dotychczas stosowanego odlewniczego pyłu węglowego. Dotychczasowe wyniki badań i doświadczeń uzyskanych z bentonitem i zamiennikiem ekomix wykazały,

¹ mgr inż., Instytut Odlewnictwa w Krakowie

² mgr inż., Przedsiębiorstwo Techniczno Handlowe CERTECH.

że najkorzystniejsze dla odlewni jest stosowanie ekomixu w postaci mieszanek bentonit-ekomix przygotowanych przez producenta, z uwagi na uzyskiwaną najlepszą jakość ujednorodnienia tych mieszanek, a w konsekwencji dobrą jakość mas w odlewni. Dlatego ekomix wykonywany jest najczęściej w postaci takich mieszanek różniących się składem, w zależności od potrzeb odbiorców, o różnej proporcji bentonitu i ekomixu, o handlowej nazwie CERMIX 15, 20, 25. Zawartość w tych mieszankach bentonitu wynosi 75 - 85%, a ekomixu 15 - 25%. W mieszankach zastosowano wysokiej jakości bentonit o następujących właściwościach:

- wilgotność 6 – 11%,
- zawartość motmorylonitu powyżej 85%,
- zawartość węglanów max 5%,
- wskaźnik pęcznienia min 20 [cm³/2h],
- wytrzymałość na ściskanie na wilgotno R_c^w pow. 0,08 [Mpa],
- wytrzymałość na rozciąganie w strefie przewilżonej R_m^p ,36 [kPa].

Materiał „ekomix” jest mieszanką kilkuskładnikową zawierającą niewielką ilość wyselekcjonowanych gatunków węgla kamiennego, materiały zwiększające zdolność do tworzenia węgla błyszczącego to jest żywice oraz substancje neutralizujące szkodliwe związki wydzielające się w procesie wykonywania odlewów, a zwłaszcza wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), węglowodory benzolowe (VOCs) [2,3,4]. Materiał „ekomix” posiada następujące parametry techniczne:

- zdolność do tworzenia węgla błyszczącego - 16 – 18%,
- zawartość części lotnych - 40 – 43%,
- zawartość popiołu - max 3,0%,
- zawartość siarki - max 0,6%,
- zawartość wody - max 3,0%.

Innowacyjność tego materiału w stosunku do podobnych tego typu, polega na zastosowaniu w nim jako jednego z jego składników „absorbenta”, neutralizującego w bardzo dużym stopniu emisję VOCs i WWA. Zastosowany w masie formierskiej nośnik węgla błyszczącego zawierający „absorbent”, neutralizuje szkodliwe związki wydzielające się z mas rdzeniowych, znajdujących się w formie odlewniczej, których emisję w dotychczasowych pracach pomijano.

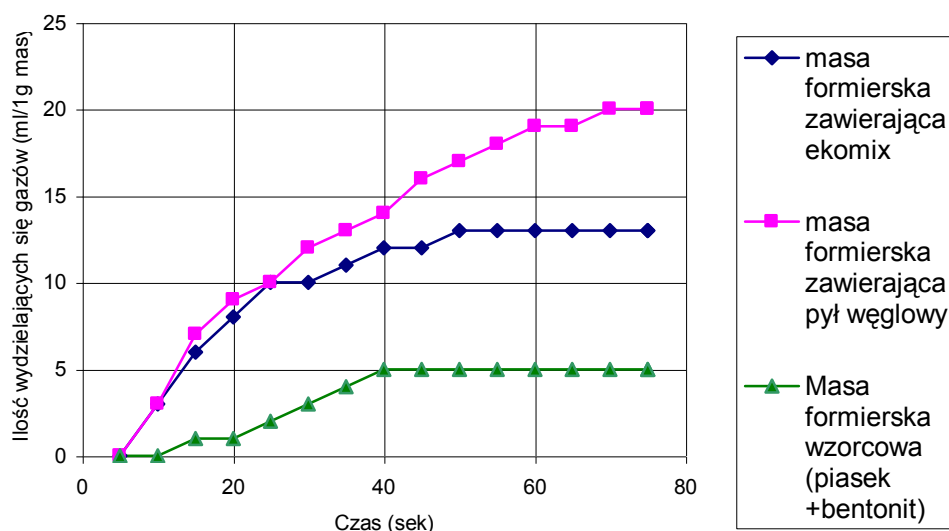
1. Prace badawcze i wdrożeniowe związane z zastosowaniem nowych materiałów

Głównym parametrem technologicznym decydującym o jakości pyłu węglowego lub o jakości zamienników, jako składników mas formierskich, jest tzw. zdolność do tworzenia węgla błyszczącego (WB), mikrokryształicznej formy węgla powstającej w trakcie termicznej polikondensacji i polimeryzacji węglowodorów na chemicznie obojętnych powierzchniach [5,6,7,8]. Z tego powodu materiały te określa się mianem nośników węgla błyszczącego. W roku 1964 I. Bindernagel opracowała aparat do oceny zdolności do wytwarzania „węgla błyszczącego” z pyłów węglowych oraz metodykę pomiaru [9], jest to metoda tzw. „wagowa”. W Polsce na podstawie tej metody w roku 1978 została opracowana norma branżowa BN-88/ 4024-09 [10]. Metoda I. Bindernagel jest najbardziej rozpowszechnioną i właściwie jedyną stosowaną do chwili obecnej w krajach UE.

W Polsce roku 2000 zaprojektowano i wykonano nowe urządzenie elektroniczne umożliwiające oznaczanie węgla błyszczącego. Do określania ilości węgla błyszczącego zastosowano detektory wykorzystujące pochłanianie promieniowania podczerwonego typu NDIR (ang. Non-Dispersive InfraRed). Pomiar przebiega automatycznie [11], cykl pomiarowy trwa wielokrotnie krócej niż w przypadku dotychczas stosowanej metody, automatyzacja procesu pomiarowego umożliwia wyeliminowanie wpływu czynnika ludzkiego na wyniki pomiarów, a przez to gwarantuje ich wysoką powtarzalność i obiektywność. Całym procesem steruje komputer co pozwala na szybki i powtarzalny pomiar, bezpośrednią edycję i archiwizację wyników pomiarowych. W Instytucie Odlewnictwa w Krakowie w badaniach stosowane są obie metody badawcze.

O ile w przypadku produkowanego w kraju odlewniczego pyłu węglowego zdolność do tworzenia węgla błyszczącego wynosi około 8% (maksymalnie do 11%), to w przypadku zamienników wartość ta wynosi przeciętnie 16 do 18%, dlatego dodatki te stosuje się w masie formierskiej, w znacznie mniejszej ilości, gwarantując uzyskanie porównywalnej, lub lepszej jakości powierzchni odlewu (pyłu węglowego dodaje się do masy formierskiej w ilościach 4–5 %, zamiennika 1–1,5 %). Konsekwencją jest zdecydowanie zmniejszona emisja wszystkich gazów i szkodliwych związków wydzielających się z mas formierskich zawierających zamienniki.

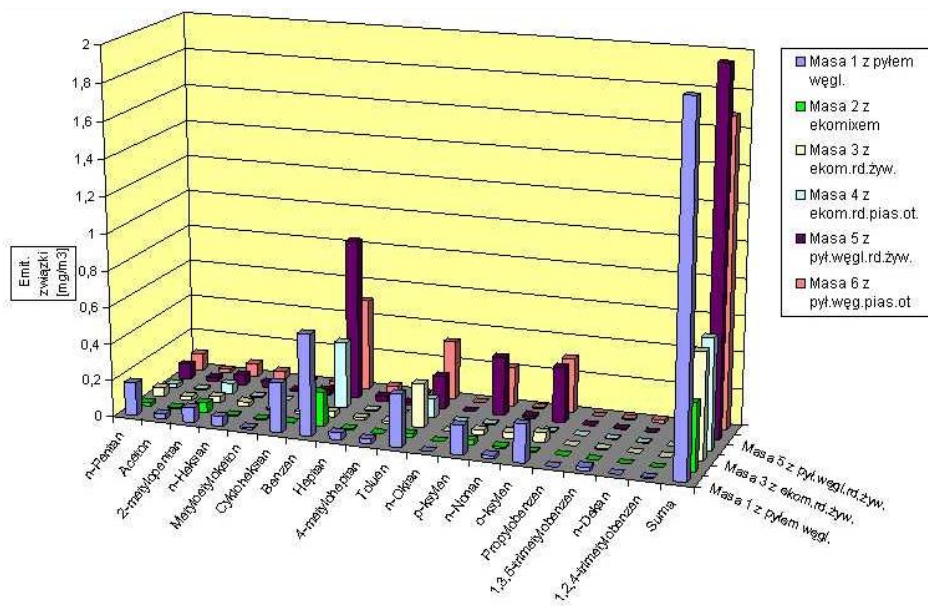
Jednym z głównych źródeł emisji szkodliwych związków, podczas wykonywania odlewów żeliwnych, są masy formierskie i rdzeniowe zawierające technologicznie niezbędne dodatki organiczne. Stosowany w masach odlewniczy pył węglowy, jego zamienniki i inne organiczne dodatki, oprócz korzystnego wpływu na jakość powierzchni odlewów powodują pewne niekorzystne zjawiska, a zwłaszcza wydzielanie się szkodliwych związków chemicznych, głównie w postaci gazów [2]. Taka sama sytuacja jest w przypadku spoiw żywicznych stosowanych w masach rdzeniowych służących do wykonywania rdzeni. Na rys. nr 1 pokazano kinetykę wydzielalności gazów z badanych mas formierskich, widzimy jak znaczne mogą być różnice w ich ilościach w zależności od zastosowanych dodatków do masy formierskiej.



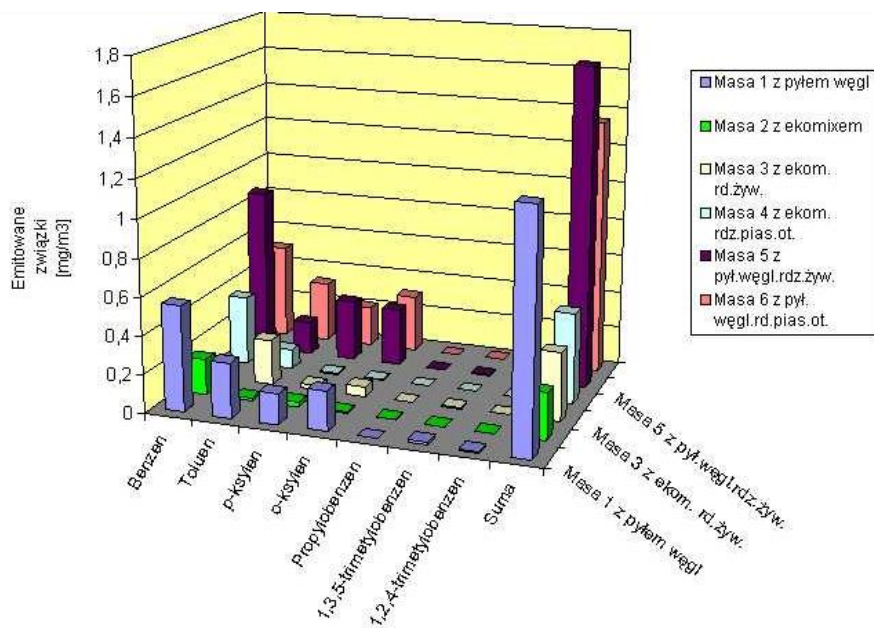
Rys. 1. Kinetyka wydzielalności gazów z badanych mas formierskich (badana próbka 1 gram masy).

Zastosowane w masach formierskich dodatki organiczne jw., a także żywice stosowane jako spoiwa do wykonywania form i rdzeni, po zalaniu form ciekłym metalem ulegają wysokotemperaturowej pirolizie, prowadzącej do powstawania węgla błyszczącego (decydującego o uzyskaniu dobrej jakości powierzchni odlewów). Temu procesowi towarzyszy zawsze powstawanie lotnych związków organicznych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, które nie wzięły udziału w reakcjach termicznej polikondensacji i polimeryzacji. Kolejne szkodliwe związki wydzielające się z mas formierskich to dioksyny i furany, powstające podczas stosowania do produkcji pyłu węglowego, z węgla który miał kontakt z chlorem. Związki te emitowane są do atmosfery, a także pozostają w strukturze odpadowych mas formierskich, stanowiąc zagrożenie w trakcie ich składowania (na składowiskach odpadów),

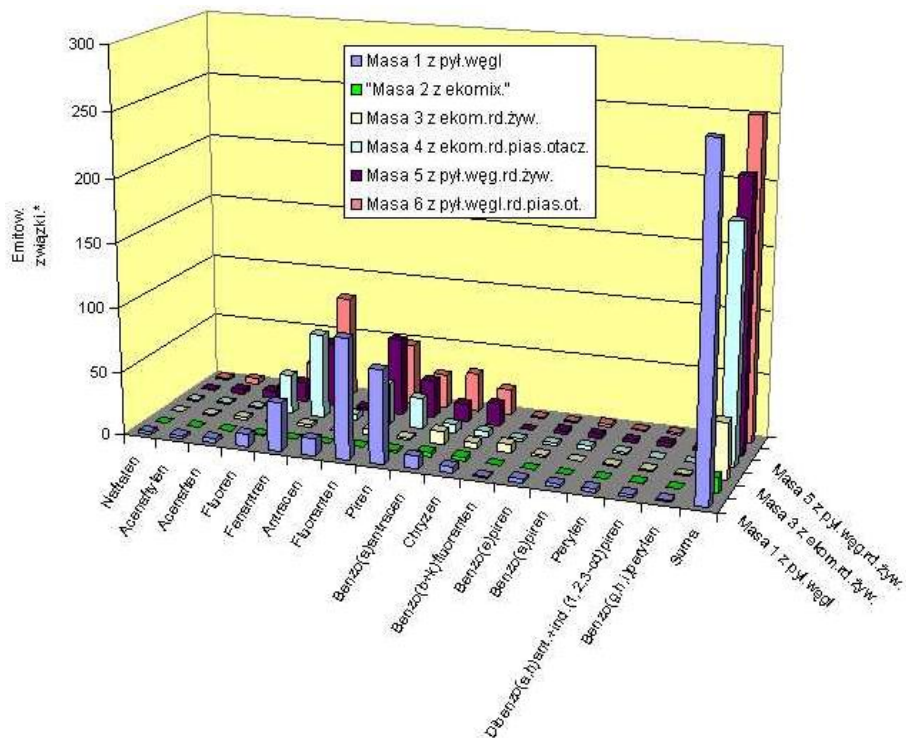
lub recyklingu masy obiegowej w odlewni. Badania nad tymi zagadnieniami były realizowane przy opracowywaniu nowego zamiennika pyłu węglowego ekomix oraz mieszanek bentonit –ekomix. Prace realizowano przy współudziale Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze. Na rysunkach 2,3,4 pokazano wyniki badań lotnych związków organicznych, węglowodorów BTX, a także ilość związków z grupy WWA emitowanych z mas formierskich podczas wykonywania odlewów. Na podstawie przedstawionych wyników widoczne jest w jak znaczny sposób możliwym jest poprawienie warunków ekologicznych w odlewniach w wyniku zastosowania nowych materiałów.



Rys.2. Wyniki badań lotnych związków organicznych emitowanych podczas zalewania form metalem oraz podczas stygnięcia odlewów, dla badanych mas formierskich i rdzeniowych.



Rys. 3. Wyniki badań ilość węglowodorów BTX oraz całkowitej substancji organicznej w odgazach uzyskanych podczas zalewania form ciekłym metalem i podczas stygnięcia odlewów.



Rys. 4. Ilość związków z grupy WWA emitowanych z mas formierskich.
(Uwaga: * jednostki μg)

Realizując Projekt Celowy w roku 2009 w marcu uruchomiona została produkcja nowych materiałów które wdrożono do tej pory w następujących odlewniach:

- Zakłady Metalowo – Chemiczne METALCHEM w Dębnie,
- Zakład Ślusarsko – Odlewniczy WICENTÓW k. Końskich,
- Odlewnia Kaw-Met w Orłach,
- Zakład Odlewniczo -Mechaniczno-Handlowy WÓJCIK w Kielcach.

Obecnie trwają prace wdrożeniowe w następujących odlewniach.

Za opracowanie nowych materiałów Instytut Odlewnictwa oraz PTH Certech otrzymały wyróżnienie XV Międzynarodowych Targów Technologii dla Odlewnictwa.

Poniżej pokazano przykładowe fotografie różnego typu odlewów wykonywanych w wymienionych odlewniach z zastosowaniem opracowanych materiałów.



Rys 5. Przykład odlewu włazu kanalizacyjnego bezpośrednio po wybicciu z formy, przed jego oczyszczeniem



Rys 6. Przykład odlewów włączów kanalizacyjnych.



Rys 7. Odlewy elementów kominka żeliwnego

Stosując opracowane materiały w masach formierskich uzyskuje się następujące efekty praktyczne:

- zastosowany w mieszankach bentonit-ekomix wysokiej jakości bentonit umożliwia otrzymanie wysokich właściwości technologicznych mas formierskich spełniających najwyższe wymagania odlewni,
- wysoka zdolność do tworzenia węgla błyszczącego z ekomixu, wynosząca 16 do 18 % (przypadku pyłu węglowego wynosi około 7,5%), umożliwia uzyskanie wysokiej jakości powierzchni odlewów oraz łatwe sterowanie jakością w wyniku regulacji ilości zastosowanego dodatku,
- zużycie nowego materiału ekomix w masie formierskiej wynosi 30 % w porównaniu do dotychczas stosowanego odlewniczego pyłu węglowego,
- całkowita wydzielalność gazów z masy formierskiej jest mniejsza o ok. 30 %, w porównaniu do mas z odlewniczym pyłem węglowym (rys nr1),
- masa formierska posiada korzystniejsze parametry technologiczne takie jak przepuszczalność oraz zagęszczalność, ze względu na zawartość w niej mniejszej ilości cząstek pylistych,
- w porównaniu do mas z pyłem węglowym, zastosowanie ekomixu lub mieszanek pozwala na obniżeniu emisji takich szkodliwych gazów jak: tlenek węgla (CO) - około pięciokrotne, węglowodory benzolowe BTX (benzen, toluen, ksylen) - około

- 8 krotne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (16 związków WWA)-
około 3 do 6 krotne (rys. 2,3,4),
– mniejsza jest ilości wad odlewniczych typu pęcherze gazowe, nakłucia, strup,
blizny.

Literatura

- [1] Stefański Z. i inni: Raport Końcowy z realizacji Projektu Celowego NOT nr ROW-II-305/2007 pt. „opracowanie technologii i uruchomienie produkcji wysokiej jakości (%), materiałów o nazwie ekomix oraz mieszanek ekomix –bentonit, przeznaczonych dla odlewnictwa”, marzec 2009 r. Sprawozdanie PTH CERTECH, Niedomice, Instytut Odlewnictwa, Kraków.
- [2] Lewandowski J. L.: Tworzywa na formy odlewnicze. Wydawnictwo “Akapit”, Kraków 1997.
- [3] Wasin Yu., Aleksandrow W. M., Kulakow B. A.: Lit. Proizw. 6, 5 (1973).
- [4] Murza- Mucha P., i inni; Przegląd Odlewnictwa 1997, nr 10, s. 262-267.
- [5] Hespers W.: Gisserei 59, 765 (1972).
- [6] Kolotilo. D. M., Cheladinow L. M.: Uglerodnyje liteinyje formy, Naukowa Dumka, Kijew (1971) p. 43, 44.
- [7] Hartman C.: Praktische Eisenhüttenkunde, Weimar (1843) p. 415, 443
- [8] Kolorz A., Orths K.: Giesserei 51, 723 (1964).
- [9] Bindernagel I., Kolorz A., Orths K.; Gisserei 12, s. 729-730 (1964).
- [10] Stefański Z. i in. norma BN-88/ 4024-09. Pomiar zawartości węgla błyszczącego. Pył węglowy odlewniczy i jego zamienniki.
- [11] Witowski A, i inni,. Zgłoszenie patentowe nr 376393/2005, Sposób określania zawartości frakcji węgla amorficznego i frakcji węgla błyszczącego w produktach pirolitycznych, powstających z materiałów węglotwórczych stosowanych jako dodatki, zwłaszcza w masach formierskich oraz urządzenie do stosowania tego sposobu.

IONTOVÁ VÝMĚNA U MONTMORILLONITICKÝCH JÍLŮ A JEJÍ DŮSLEDKY

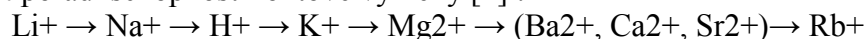
Petr JELÍNEK¹

Úvod

Na území České republiky jsou bohaté zásoby bentonitických jílů, především s majoritním podílem Ca-Mg montmorillonitu*. Nedosahují kvality přírodních Na-bentonitů**, smektitů woymingského typu, s vysokou koncentrací montmorillonitu, vazností i termostabilitou, což umožňuje jejich aplikaci při výrobě forem i pro odlitky vyšší váhové kategorie na syrovo. Přiblížit se těmto vlastnostem, znamená převést Ca-Mg bentonity pomocí iontové výměny (natrifikace) na Na – bentonity, s vyššími užitnými vlastnostmi. Samotnému natrifikačnímu procesu musí být věnována patřičná pozornost. Připravit „optimální“ natrifikaci výrobcem pro dané technologické podmínky konkrétní slévárny (formovací linky) a udržet ji v procesu oběhu jednotné bentonitové směsi (vliv rozdílné tepelné expozice formy, druh a podíl jader) je technicky náročné a proto v reálných podmínkách často pracujeme i s podnatrifikovanými nebo naopak přenatrifikovanými bentonity. Natrifikované bentonity vykazují řadu předností, ale i nedostatků. Příspěvek se zabývá technologií postupů vlastní natrifikace i kladnými a negativními dopady iontové výměny na kvalitu vyráběných odlitků do bentonitových forem.

1. Struktura montmorillonitu – bentonity

Montmorillonity mají typickou trojvrstvou strukturu. Mezi dvěma silikátovými tetraedry (SiO₄)⁴⁻ se nachází oktaedr (AlO₆)⁻. V oktaedrech i tetraedrech jsou atomy vázány relativně pevnými kovalentními vazbami. Jednotlivé vrstvy jsou vázány slabými van der Waalsovými silami. U montmorillonitů jsou časté izomorfní substituce centrálních atomů v koordinačním tetraedru (Si⁴⁺ → Al³⁺) nebo oktaedru (Al³⁺ → Mg²⁺). Tím se stává povrch elektricky nabitý se záporným znaménkem (O²⁻). Tento strukturní efekt je příčinou mimořádné sorpční kapacity (vysoká povrchová aktivita). Záporný náboj je částečně kompenzován v prostorách výměnné báze kationty, nejčastěji Ca²⁺ - Mg²⁺, ale také Na⁺. Kationty jsou vázány mezi částicemi různou silou, což nám umožňuje sestavit pořadí schopnosti iontové výměny [1] :



Výměna Ca²⁺ - Mg²⁺ iontů za Na⁺ je technologicky u bentonitových směsí značně výhodná a nazýváme ji procesem natrifikace. Voda je pak spotřebována nejen k tvorbě lyosféry na povrchu částic – bobtnání intermicelární, ale i bobtnání intramicelární (mezi bazálními rovinami).

Bentonit pak nazýváme jíl s obsahem montmorillonitu > 70 – 75 % (zbytek tvoří illity, kaolinity a další aluminosilikáty).

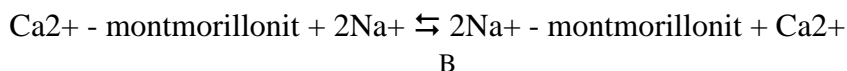
¹ prof. inž., VŠB – Technická univerzita Ostrava, FMMI, Katedra slévárenství, Czechy

* Francouzi v r. 1847 nazývali jílový minerál „montmorillonit“.

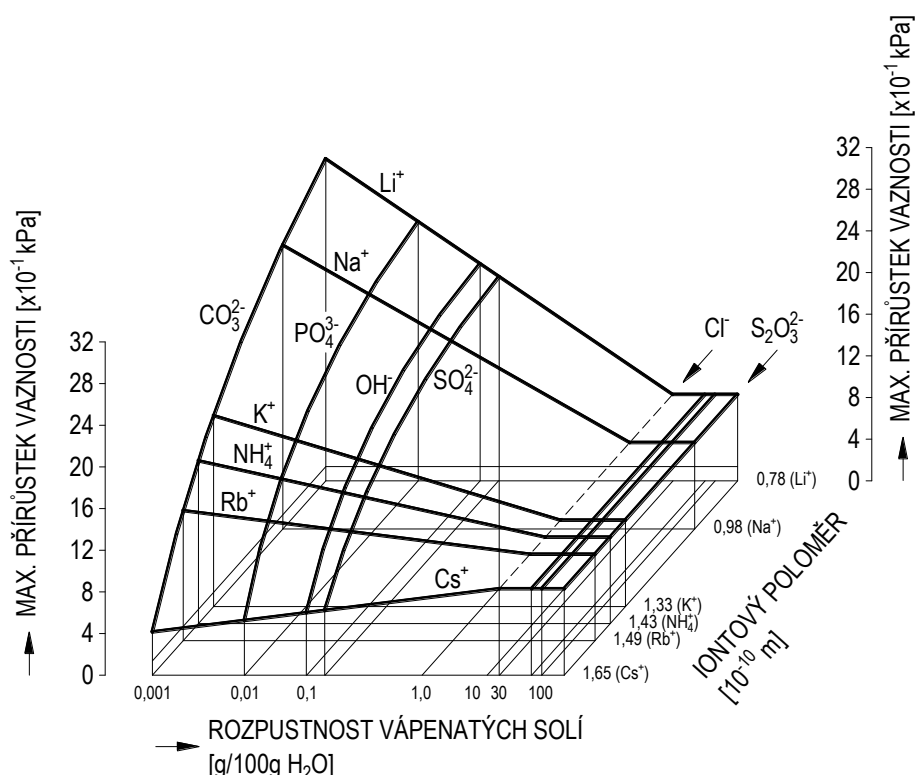
** Americký geolog Knight v r. 1898 při zahájení těžby jílu ve větším měřítku, podle Fort Bentonu v americké Montáně, použil název „1920, v Evropě (Německu) po r. 1930.

2. Fyzikálně-chemická podstata procesu natrifikace

Proces natrifikace lze postihnout zjednodušenou schématickou rovnicí:



Natifikaci lze provést jakoukoliv sodnou solí (Na^+), ovšem objem výměny iontů (směr A) bude limitován rozpustností vznikajících vápenatých solí (Ca^{2+}). Účinnost poroste rovněž s klesajícím rozměrem kationtu ($\text{Li}^+ \rightarrow \text{Cs}^+$) (obr. 1).



Obr. 1. Účinnost natrifikace volbou iontového poloměru a rozpustnosti solí

V tomto směru se jako nejvhodnější jeví uhličitany a fosforečnany Li^+ a Na^+ . Z ekonomického hlediska je nejpoužívanější uhličitán dvojsodný (Na_2CO_3).

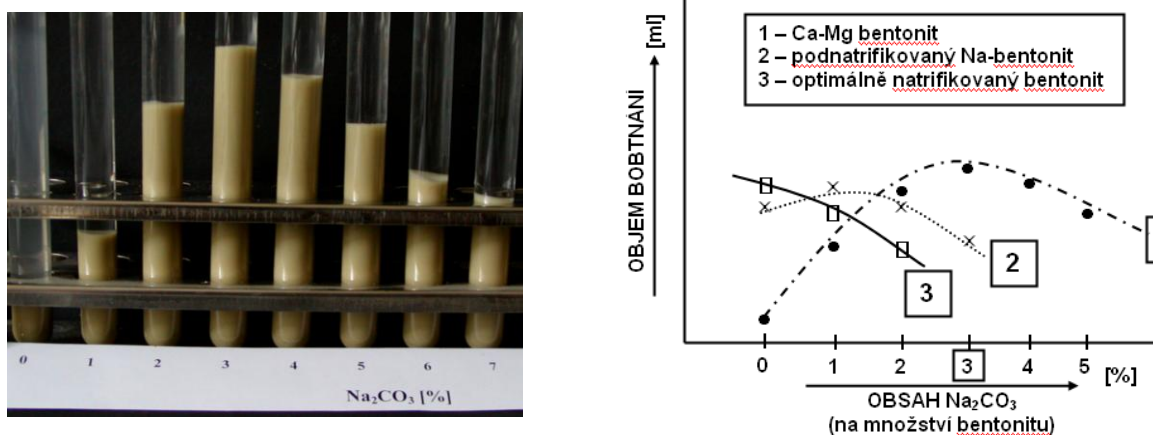
Vícemocné (Ca^{2+} , Mg^{2+}) méně hydratované kationty, působí koagulačně, naopak jednomocné hydratované kationty (Na^+) působí dispergačně, tj. zabraňuje shlukování částic (roste bobtnatost) (tab. 1).

Tab. 1: Změna vlastností montmorillonitických jílu sorpcí různých kationtů [2]

Vlastnosti	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Al^{3+}
Mez tekutosti	575	201	134	131
Mez plasticity	50	47	44	74
Index plasticity I.p.	425	154	90	57
Bobtnavost (%)	158	76	90	78

„Optimální množství“ přísady Na_2CO_3 odpovídá maximálnímu bobtnavému objemu bentonitové suspenze. U severočeských bentonitů tato hodnota odpovídá okolo 120

3 hmot. % sody na hmotnost pojiva (obr. 2). Max. bobtnaný objem dosti těsně pak koreluje s maximální pevností v zóně kondenzace vody.



Obr. 2. Zkouška bobtnavosti bentonitu (podle F. Hofmanna)

Ne vždy je výhodné pracovat s optimální natrifikací (s optimálním množstvím natrifikační soli). Je nutné vycházet z konkrétních podmínek aplikace v jednotné bentonitové směsi (teoretické vlivy: pH jádrové směsi a její rozpádatost, průměrnému tepelnému namáhání formy – poměr forma/kov ad.).

3. Technologie postupů natrifikace

Na – bentonity jsou vysoce dispergovány proti Ca – bentonitům, avšak méně pevně váží vodu. Při určitém poměru Na^+ a Ca^{2+} kationtů je dosahováno optimální dispergity, avšak i kontaktů mezi částicemi, projevující se maximální pevností bentonitových směsí, např. v zóně kondenzace vody

$$(40 - 50 \% \text{ Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} \text{ a } 50 - 60 \% \text{ Na}^+ - \text{K}^+).$$

Samotná technologie natrifikace sestává ze základních operací: promíchání bentonitu se sodou, zrání – doba potřebná k iontové výměně, sušení v optimálním teplotním režimu a mletí (mechanická aktivace).

Suchý jednoduchý způsob aktivace (mísením suchých komponent bentonit – soda) nedává především záruku rovnoměrného rozdělení aktivátoru v objemu směsi. Účinnější je již využití bentonitových suspenzí

Efektivnost jednotlivých postupů lze uvést v pořadí účinnosti:

1. Bentonitová směs + práškový aktivátor (Na_2CO_3)
2. Práškový bentonit + práškový aktivátor
3. Vlhký bentonit + práškový aktivátor
4. Vlhký bentonit + roztok aktivátoru
5. Bentonitová suspenze + práškový aktivátor
6. Směs – pasta bentonitu s aktivátorem

Vytvoření a prohnětení bentonitové pasty s aktivátorem na speciálním kolovém mísiči s děrovaným dnem a vytvoření „nudliček“ z bentonitové pasty a jejich vysušení (do $150\text{ }^\circ\text{C}$), patří k velmi účinným postupům. Účinnost se zvyšuje roztíracím účinkem pasty. Dochází tím k odkrytí nových aktivních míst. Obsah vody v bentonitové pastě se

pohybuje v mezích 26 – 45 %. V tab. 2 jsou uvedeny vzájemné poměry kationtů při aplikaci jednotlivých postupů natrifikace:

Tab.2. Poměrné zastoupení kationtů v bentonitech po různých postupech natrifikace [2]

Postup aktivace	Kationtové složení mg . ekv/100 g			Na ⁺ + K ⁺ [%] z celkového objemu kationtů
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	
Bentonit bez aktivace	26,5	33	8	10
1 – 2	16	25	38,5	48
3 – 4	11	20	53,5	62
5 – 6	14	9	62	72

Kombinace postupů 3 – 4 a zvláště 5 – 6 patří k velmi účinným postupům natrifikace (více než 60 % tvoří obsah Na⁺ - (K⁺) z celkového objemu kationtů).

Ke speciálním postupům patří tzv. podvojná aktivace. Na 100 hm. d. bentonitického jílu se přidají 3 hm. d. Na₂CO₃ a přísadou 35 % vody se vytvoří bentonitová pasta, která se nechá 24 hod. odležet. Pak teprve následuje sušení pasty a mletí. Takto aktivovaný bentonit se použije pro přípravu bentonitové směsi (100 hm. d. křem. písek + 7 hm. d. aktivovaný bentonit), která se ovlhčí 1 % - ním roztokem Na₂P₂O₇ na potřebnou spěchovatelnost (druhý stupeň).

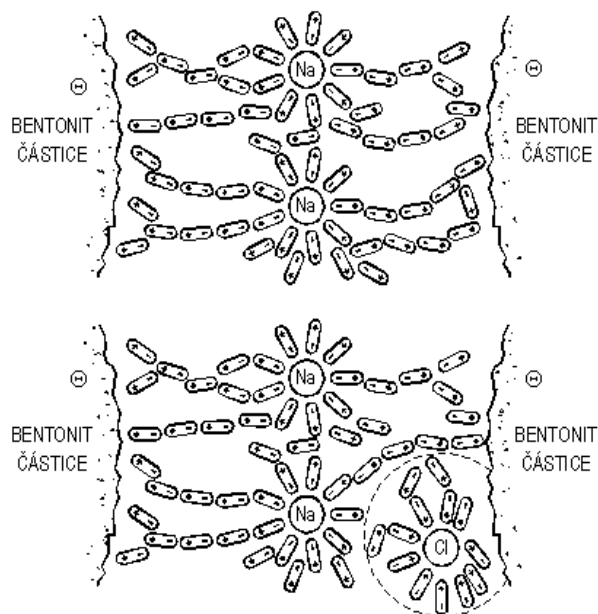
Pevnost směsi v kondenzační zóně z původní průměrné hodnoty 30 p/cm² vzrostla po druhém stupni natrifikace na 45 – 50 p/cm² (1 % Na₄P₂O₇) a po dalších 24 hod. odležení směsi až na 51 – 56 p/cm² [3].

4. Optimální stupeň natrifikace

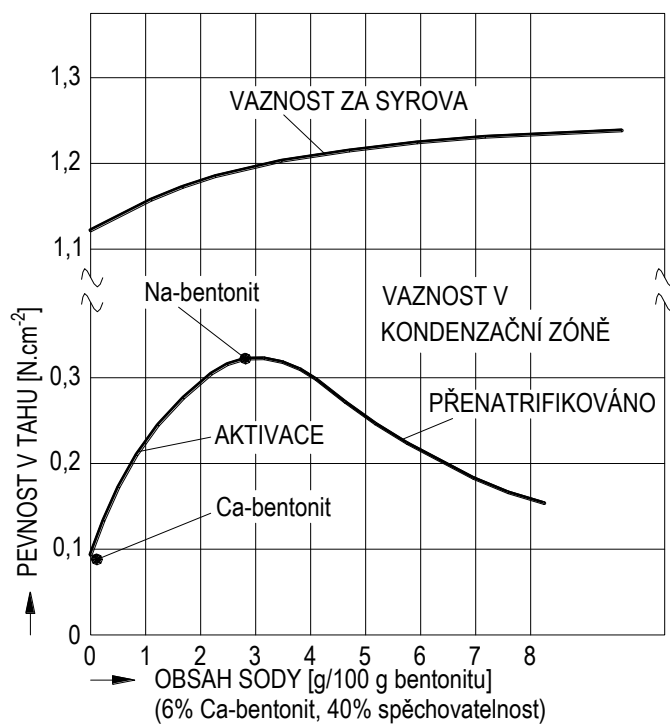
Někteří výrobci produkují tzv. podnatrifikované bentonity, kde je dosahováno

příznivého poměru $\frac{Na^+}{Ca^{2+}}$. Chtějí tímto dosáhnout pevnější vazby na vodu (snížení a vysychání směsi při transportu a forem při prostojích na formovacích linkách).

Rovněž, aby nedocházelo ke škodlivému přenatrifikování, vznikajícího, např. přítomnosti rozpadavých jader s resolovými pojivy (CO₂ –resol, alpha set) nebo jádry pojenými roztoky solí (MgSO₄, Beach-Box). Přenatrifikování, přítomnost volných radikálů (CO₃²⁻, Cl⁻ a dalších), ruší vazbu dipólových molekul vody mezi bentonitovými částicemi (obr. 3) i kationtem, což má za následek pokles bobtnatosti (obr. 2), pokles pevnosti v zóně kondenzace vody (obr. 4).



Obr. 3: Porušení vazby dipolmolekul vody mezi bentonitovými částicemi



Obr. 4: Vliv přenatrifikování na vaznost v tahu a pevnost v zóně kondenzace vody
Přítomnost solí ve vodě podstatně snižuje vaznost v tlaku bentonitové směsi, ale rychle klesá pevnost v tahu v zóně kondenzace vody (ZKV) (obr. 4). Nepříznivý účinek solí roste s jejich rozpustností ve vodě (tab. 3) :

Tab. 3:

	Rozpustnost solí g/100 g H ₂ O	Pokles pevnosti ZKV (%)
CaCO ₃	0,0015	-
NaHCO ₃	9,6	40
Na ₂ CO ₃	21,6	70
NaCl	35,9	72
NaOH	107,0	80
K ₂ CO ₃	111,5	83

Velmi „nebezpečné“ jsou Cl⁻ a některé CO₃²⁻ při rozpustnosti > 10 g/100 g H₂O. Bylo prokázáno [5], že část iontů Na⁺ (soda), při optimální aktivaci bentonitu, nachází se i v roztoku (tab. 4):

Tab. 4:

Obsah sody [%]	Pevnost v ZKV [N/cm ²]	Na ⁺ [Mg/ekv]		Celkově
		Na 100 g bentonitu		
		Adsorbovány	V roztoku	
-	0,06	1,4	1,7	3,1
1	0,105	18,1	7,1	25,1
2	0,17	29,5	10,9	40,4
3	0,18	47,8	11,9	59,7
3,5	0,195	53,9	12,1	66,0
4	0,18	52,8	23,5	76,0
4,5	0,14	48,3	33,0	81,3

Když pevnost v ZKV dosáhne maxima, je dosaženo i maximální koncentrace absorbovaných Na⁺ iontů. Na⁺ v roztoku způsobují přeaktivaci a znamenají oslabení strukturních můstků vazby. Důležitým zůstává poměr obou Na⁺ iontů. Jestliže se sníží koncentrace Na⁺ v roztoku, např. v důsledku tepelné expozice, část adsorbovaných iontů přejde do roztoku pro zajištění rovnováhy. Tím se sníží stupeň aktivace a klesne pevnost v ZKV. Tuto skutečnost potvrzuje i velmi intenzivní pokles pevnosti v ZKV při ohřevu bentonitu.

Když soda je součástí „oživovacího“ bentonitu JBS, má sledovat i stupeň tepelného namáhání formy. Přesto je obsah sody často nedostatečný. Důležitou roli hraje i tvrdost používané vody. Většina vod neobsahuje potřebné množství solí a deaktivace bentonitu ve formovací směsi probíhá vlivem tepelného rozkladu rozpustné sody a zmenšením vázané sody. V tomto případě systematické dávkování malého množství sody (např. 0,02 % na směs) zabezpečuje stabilitu pevnosti v tahu v ZKV.

Jak potvrdily i poslední výzkumy [4], přebytek Na₂CO₃ vede i k růstu stupně oolitizace zrn křemenného ostřiva. Podnatrifikované bentonity jsou též připravovány smícháváním natrifikovaných Na – bentonitů s přírodními Ca – bentonity.

Orientační kontrolu stavu natrifikace bentonitu lze provést zkouškou bobtnavosti podle F. Hofmanna (obr. 2). Znamená-li nárůst objemu přísadky sody, znamená to

podnatrifikovaný stav (křivka 2). Objeví-li se pokles objemu již prvním přidavkem sody znamená, že je „optimálně“ natrifikován (křivka 3).

5. Přínosy a nedostatky natrifikovaných bentonitů

- Snížení tepelného napětí formy z brzděné tepelné dilatace ostřiva (SiO_2). Montmorillonitické jíly smršťují již od $80\text{ }^\circ\text{C}$ a to více $\text{Na}^+ - \text{M}$ nežli $\text{Ca}^{2+} - \text{M}$.
- Vysoká botnavost
Antisedimentační účinek, např. u spec. nátěrových hmot; využití tixotropních vlastností suspenzí.
- Pokles citlivosti v převlhčeném stavu
Růst pevnosti v zóně kondenzace vody; prodlužování kritické doby do vzniku zá lupů (vady z napětí).
- Růst termostability pojiva
Zvýšení teploty dehydroxylace (vznik mrtvého bentonitu) o více než $100 - 150\text{ }^\circ\text{C}$. Snížení spotřeby bentonitu v jednotných bentonitových směsích.
- Vyšší sorpční vlastnosti plynné táze
Sorpce polutantů z C-aditiv a jader s organickými pojivy (BTEX). Hygiena pracovního prostředí sléváren.
- Přítomnost přebytku Na – solí (Na_2CO_3) vede k vyšší oolitizaci zrn ostřiva (zapečeniny odlitků).
- Rychlejší ztráta vlhkosti (růst otěru, zadrobeniny).
- Růst termostability vede ke zhoršení rozpadavosti forem (ztráty aktivního bentonitu vznikem hrud, odcházejících do odpadní směsi

6. Diskuse a závěr

Natřifikace sleduje iontovou výměnu ($\text{Ca}, \text{Mg} \rightarrow \text{Na}$), která přináší řadu technologických předností bentonitových směsí. Maximálního efektu lze docílit při určitém

poměru $\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} \text{ Mg}^{2+}}$ iontů, cestou směsí s přírodními Ca, Mg – bentonity. Důležitou roli sehraává poměr adsorbovaných a volných Na – iontů. Účinnost natřifikace roste s výběrem natřifikační soli, při využití bentonit – aktivátor suspenzí s roztíracím účinkem pasty. Stupeň natřifikace lze orientačně kontrolovat podle sedimentačních objemů, např. postupem podle F. Hofmanna a především pevnosti v zóně kondenzace vody. Škodlivější je „podnatřifikovaný“ stav bentonitu, jehož původcem nemusí být jen výrobce (přítomnost „kyselých“ jader, produkty pyrolýzy uhlíkatých aditiv). Diskutabilní zůstává přednost natřifikace při zvyšování dehydroxylace, teploty termostability Na – bentonitu. Takto vzniklé úspory aktivního bentonitu v jednotných bentonitových směsích se naopak redukuje zhoršenou rozpadavostí a tvorbou hrud, odcházejících z oběhu do odpadní směsi k deponování.

Předložený výzkum byl financován z programu MPO ČR „Impuls“, ev. č. FI-IM4/139.

Literatura

- [1] Kolektiv autorů: Ilovité zeminy a ich použitie v stavebnictve. SAV Bratislava, 1968, 277 str.
- [2] Žukovskij, S. S.: Formovočnyje materialy i technologija litejnovo proizvodstva. Moskva, Mašinostrojenije, 1993, 432 str.
- [3] Zátopková, J.: Natrifikace bentonitů a její vliv na vlastnosti syntetických bentonitových směsí. Diplomová práce VŠB-TU Ostrava, katedra slévárenství, 2008.
- [4] Lichý, P.: Oolitizace křemenných ostřiv a její důsledky na kvalitu jednotné bentonitové směsi. Disertační práce VŠB-TU Ostrava, katedra slévárenství, 2005.
- [5] Kvaša, F.S.; Tumanova, L. P.: Vozmožnosti stabilizaciji pročnosti v zoně kondenzaciji pěščano-glinistych formovočnych směsej. Litějnoje proizvodstvo, 2004, no. 9, s. 31 – 35.

OCENA POZIOMU NAPRĘŻEŃ NA POWIERZCHNI BADANEGO ELEMENTU METODĄ ELASTOOPTYCZNĄ

Wacław STACHURSKI¹

Maria MAJ²

1. Elastooptyczna warstwa wierzchnia

Metoda elastooptyczna polega na doświadczalnym wyznaczaniu naprężeń w modelu konstrukcji, wykonanym z materiału przezroczystego, izotropowego charakteryzującego się dwójłomnością wymuszoną. Dwójłomność występująca w kryształach wynika z właściwości ośrodka optycznie anizotropowego i może także w pewnych warunkach wystąpić w materiałach optycznie izotropowych jak np. szkło, celulozoid, żywice epoksydowe i in., pod wpływem obciążenia (stad nazwa dwójłomność wymuszoną). Własność ta zanika po usunięciu obciążenia, a efekt elastooptyczny jest proporcjonalny do różnicy naprężeń głównych, bądź odkształceń głównych

Metoda warstwy wierzchniej zezwala na badanie stanu odkształceń i naprężeń na powierzchni badanego elementu lub fragmentu konstrukcji. Na powierzchni takiego elementu przymocowuje się cienką powłokę – warstwę elastooptyczną za pomocą kleju z dodatkiem płatkowego pyłu aluminiowego. Uzyskuje się dzięki temu warstwę odbijającą światło – powierzchnię odblaskową.

Do powierzchni płaskich badanego elementu przykleja się wprost płaskie płytki wykonane z materiału optycznie czułego. W przypadku powierzchni zakrzywionych powłokę pozostającą jeszcze w stanie plastycznym kształtuje się na badanym elemencie, a następnie po jej stwardnieniu przykleja się do tego elementu. Przy obciążeniu konstrukcji, razem z nią odkształca się naniesiona warstwa elastooptyczna, w której zaistnieje w ogólnym przypadku dwuosiowy stan naprężeń odpowiadający stanowi naprężeń na powierzchni konstrukcji.

W przypadku, kiedy powierzchnia oklejona płytką zostaje ściskana, rozciągana bądź ścinana – na przyklejonej warstwie wystąpią charakterystyczne barwy (pasma izochrom). Jednak zjawisko to wystąpi tylko wtedy, kiedy zmiany powierzchniowe nastąpią po fakcie trwałego przyklejenia płytki. Tak więc, przyklejenie płytki na naprężoną powierzchnię nie wykaże początkowo żadnych barw i w świetle spolaryzowanym będzie ona wykazywała wyjściową, jednorodną barwę szarą.

2. Koncentracja naprężeń w sąsiedztwie karbów

Przyczyną pojawiania się miejscowo koncentracji naprężeń jest zagęszczenie linii sił w pobliżu otworów, zmian przekroju i innych karbów. Miarą lokalnego zwiększenia tych sił jest współczynnik koncentracji naprężeń nazywany też współczynnikiem kształtu, równy stosunkowi naprężeń zwiększonych przez działanie koncentratora do naprężenia w tym samym punkcie, bez jego udziału. Wielkość współczynnika zależy od rodzaju obciążenia, kształtu obiektu, rodzaju i wymiarów koncentratora oraz jego orientacji względem obciążenia, fizyko-mechanicznych własności materiału itp. W każdej konstrukcji powinny być znane osobliwości pola naprężeń w rejonie koncentratorów, a więc określona ich wielkość i kierunki ich działania. Zjawisko jest jednak bardzo

¹ dr hab. inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie

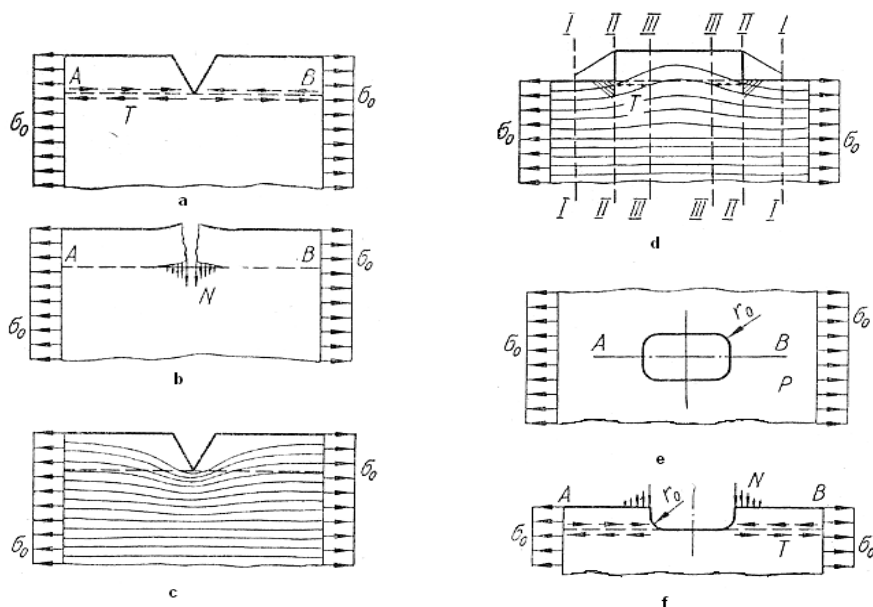
² dr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, mmaj@agh.edu.pl

złożone, stanowi m.in. problem matematycznej teorii sprężystości, dlatego szereg przypadków rozpatruje się metodami doświadczalnej analizy naprężeń, w szczególności metodami elastoptyki.

Na rys. 1 a pokazano rozciągany płaskownik z karbem naciętym przy górnej krawędzi. Oprócz sił rozciągających „T” na kierunku A B, działających poniżej dna karbu, pojawiają się siły „N,” przeciwdziałające rozerwaniu szczeliny. Powodują one wygięcie krawędzi nacięcia, czyli rozwarcie szczeliny pod wpływem momentów zginających (rys. 1 b). W takiej sytuacji przy jednoosiowym rozciąganiu mamy do czynienia z naprężeniami dwuosiowymi. Siła rozciągająca T powoduje odkształcenie w kierunku jej działania, ale jest ono zaburzone w przekrojach poprzecznych w miejscu nacięcia. Siła N działająca w kierunku normalnym prawie nie wpływa na wielkość naprężeń normalnych w płaszczyznach prostopadłych do przekroju poniżej dna karbu. Oddziaływanie części z nacięciem na pozostałą część przejawia się powstaniem koncentracji naprężeń, co uwiadcza przebieg linii sił na rys. 1 c.

Spiętrzenie naprężeń normalnych powstaje również w przypadku nagłego zwiększenia przekroju, co pokazano na rys. 1 d. Największe naprężenia styczne występują w tym przypadku w rejonie podstawy zgrubienia, na jego końcach. Ich wielkość wzrasta wraz ze zwiększeniem różnicy przekrojów.

Powstawanie spiętrzenia naprężeń w przypadku kształtu jak na rys. 1 d można analizować w poszczególnych przekrojach następująco:



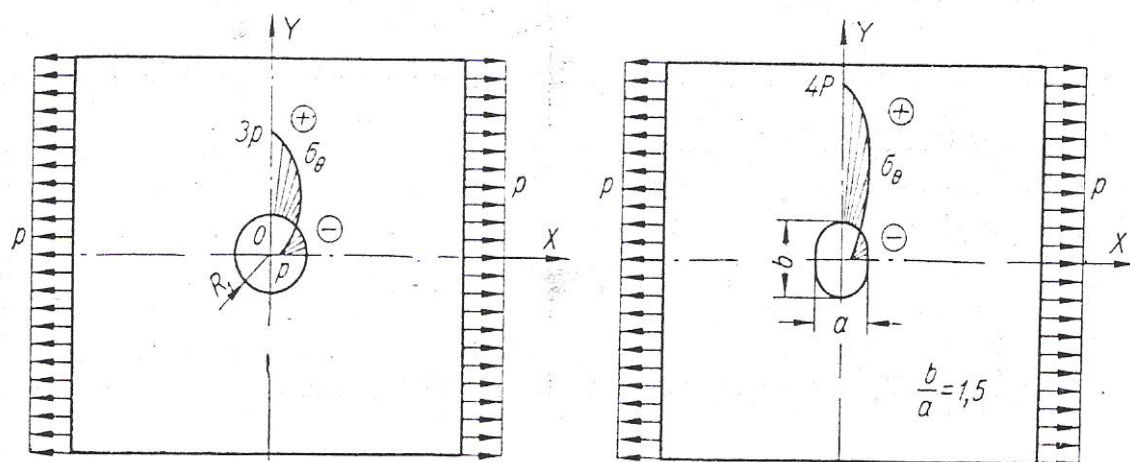
Rys. 1. Przykłady zmiany przebiegu linii sił w obecności karbów.

W przekrojach I-I występuje jednoosiowy stan naprężeń, w którym są jednakowe odkształcenia. W środkowej części (przekroje III-III) występują także jednakowe naprężenia i odkształcenia, natomiast w częściach ograniczonych przekrojami II-III, gdzie działają siły „T”, występują zaburzenia, zwłaszcza w rejonie promieni.

W przypadku otworów wykonanych w powłokach (rys. 1 e) rozpatruje się spiętrzenie podobnie jak w przykładzie z nacięciami krawędzi (rys. 1 a, b, c). Przekrój wzdłuż siły rozciągającej dzieli się płaszczyzną na dwie symetryczne części względem

otworu (rys. 1 f). Koncentracja naprężeń wystąpi w rejonie promieni naroży otworu. Różnica wystąpi w wielkości i rozkładzie sił normalnych N , które równoważą działanie sił gnących w tym rejonie.

Jeśli rozpatruje się sprężysty materiał płyty i otwory o niezbyt dużym promieniu, to stosunek największego naprężenia do normalnego nie zależy od bezwzględnej wielkości naprężenia nominalnego, ani od materiału. W otoczeniu małego otworu następuje szybki wzrost naprężeń, ale na stosunkowo małym obszarze. Jednakże w niewielkiej odległości od otworu naprężenia szybko się wyrównują. Ta właściwość uzależniona jest od kształtu otworu, który może być kołowy, kwadratowy czy prostokątny (rys. 2). Na wzrost naprężeń w sąsiedztwie otworu wpływa tylko ta część konturu otworu, która znajduje się w strefie wysokich naprężeń. Nie wpływa natomiast kształt powłoki, jeśli otwór znajduje się w dostatecznej odległości od krawędzi.



Rys. 2. Przykładowy rozkład naprężeń na krawędzi otworu kołowego i eliptycznego w rozciąganej płaskownicy.

3. Przykłady szybkiej oceny poziomu naprężeń na powierzchni badanego elementu, oklejonego powłoką elastoptyczną

Metoda polega na przyklejaniu kształtowej lub płaskiej skorupy z przezroczystej żywicy na badaną powierzchnię przy użyciu epoksydowego kleju odbłaskowego (z pyłem Al.) Analiza naprężeń możliwa jest po czasie niezbędnym do utwardzenia kleju, co następuje w zależności od temperatury, po kilkunastu godzinach. Przygotowanie powierzchni polega na usunięciu zabrudzenia i jej odtłuszczeniu. Nie jest wymagane szlifowanie powierzchni, ponieważ występujące nierówności dobrze wypełnia klej. Pomiar polega na przewierceniu naklejonej warstwy i nawierceniu badanej powierzchni do głębokości równej średnicy wiertła. Za najkorzystniejsze uważa się otwory o średnicach 2 do 6 mm. Wówczas elastoptyczne efekty powstałe w sąsiedztwie nawierconego otworu obserwuje się i rejestruje przez filtr polaryzacyjny sprzężony z ćwierćfalówką i cyfrowym aparatem fotograficznym przy korzystnych warunkach oświetleniowych. W takim układzie występują barwne izochromy o kształcie wynikającym ze stanu naprężenia wywołanego przerwaniami ciągłości badanej naprężonej powierzchni.

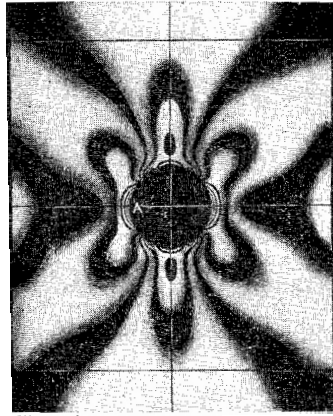
Należy zwrócić uwagę, że nawiercony otwór stanowi pewną nieciągłość materiału, wokół której powstaje spiętrzenie naprężeń, wywołane zmianą przebiegu linii sił. Właśnie to lokalne zaburzenie uwidocznione jest metodą elastoptyczną.

Na podstawie analizy powstałego obrazu izochrom dla płaskiego stanu odkształcenia można stosunkowo szybko określić:

- kierunek większego naprężenia głównego,
- wzrastający lub malejący gradient naprężeń,

- znak naprężeń.

Z uwagi na stosunkowo mały obszar spiętrzonych naprężeń i relatywnie grubą płytkę w stosunku do średnicy otworu, uzyskanie dokładnie osiowo symetrycznego obrazu jest trudne. Dlatego ilościowe określenie wielkości naprężeń i ich rozdzielanie wymaga zastosowania w tym celu innych metod.

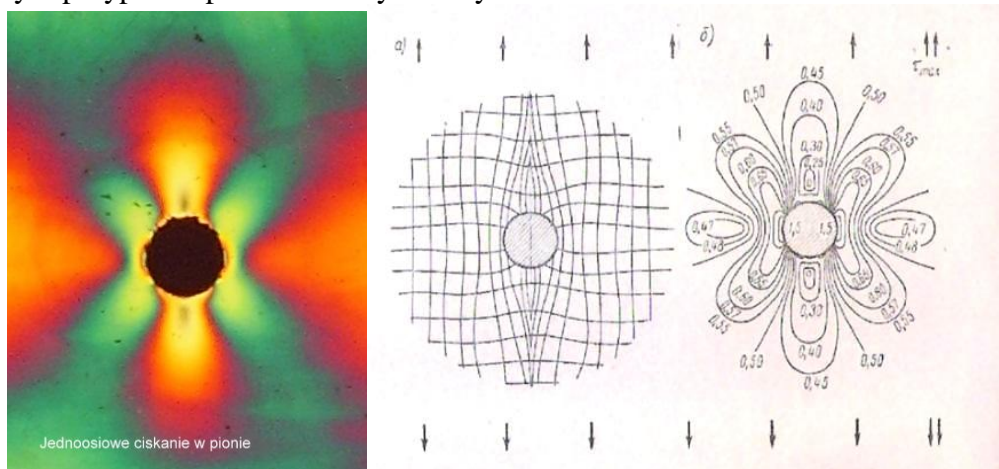


Rys. 3. Typowy obraz elastoptyczny występujący wokół otworu w płaskim rozciąganiu, wzdłuż osi pionowej, płaskowniku.

Na rys. 3 można zauważyć, że kierunek większego naprężenia jest pionowy, czyli zgodny z kierunkiem rozciągania płaskownika, a na obrazie podkreśla go mała ilość izochrom przechodzących przez oś pionową. Zdjęcie wykonano w jednobarwnym świetle sodowym przechodzącym przez przezroczysty model płyty. Widoczne izochromy są czarne, a ustalenie ich rzędu „n” jest dość kłopotliwe.

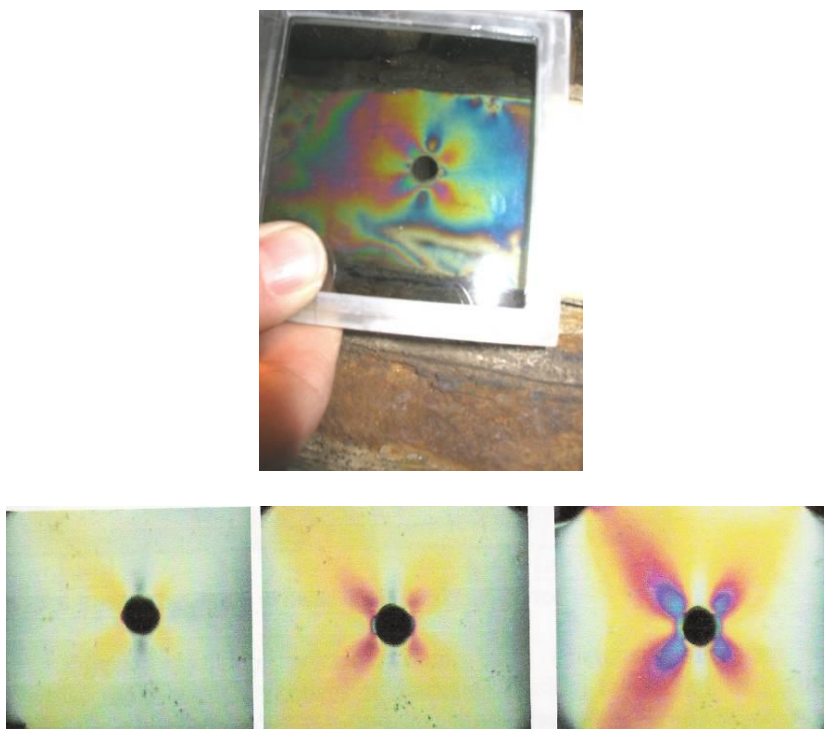
Ocena rzędu izochromy w metodzie refleksyjnej, w świetle białym jest znacznie wygodniejsza, ponieważ pomiędzy rzędami występuje cała paleta barw, a więc łatwo ocenić ułamkowy rząd. W metodzie refleksyjnej światło przechodzi dwukrotnie (odbija się od kleju) z tego powodu efekt dwójłomności wymuszonej jest podwojony.

Opisany wyżej efekt powstały przy nawierceniu pokazano również na rys. 4, ale obraz ten powstał podczas rozciągania płaskownika kilkakrotnie mniejszą siłą niż w pierwszym przypadku przedstawionym na rys. 3.



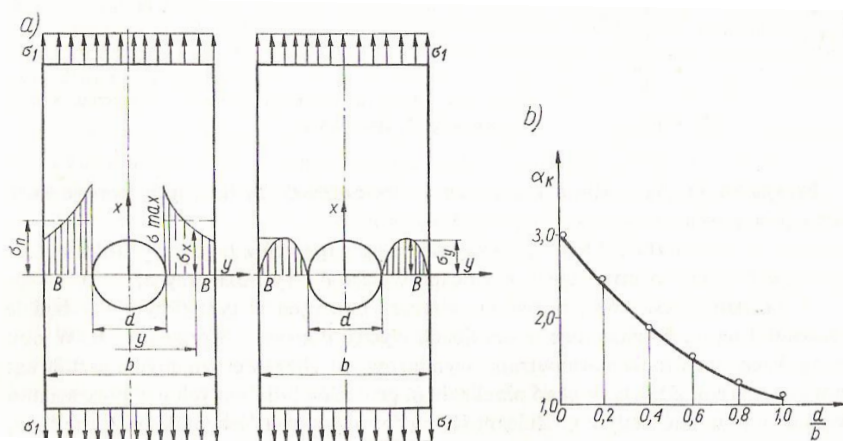
Rys. 4 Wyliczony teoretycznie rozkład izochrom i przebieg trajektorii naprężeń głównych w pobliżu otworu i jego odpowiednik elastoptyczny.

Na kolejnym rysunku przedstawiono (rys. 5) przykładowy obraz izochrom, powstały na płytce epoksydowej przyklejonej do pionowego żebra tubinga, w której wykonano otwór i następnie nawiercono przez płytkę powierzchnię odlewu. Pomimo niecałkowitego przylegania płytki do powierzchni odlewu (w dolnej części i po prawej stronie), powstały efekt elastoptyczny wokół otworu jest prawidłowy. Poszczególne obrazy, powstające podczas zmiany obciążenia, pozwalają na lepszą orientację kierunku i wielkości naprężeń w okolicy otworu.



Rys. 5. Przykładowy obraz izochrom powstały na tubinga (u góry) oraz narastanie izochrom w rozciąganej próbce epoksydowej z otworem kolejno przy wzrastających siłach (u dołu).

Wpływ warunków obciążenia na rozkład naprężeń w okolicy otworu pokazuje rys. 6. Warto jeszcze wspomnieć, że w przypadku równoczesnego działania naprężeń rozciągających i ściskających, na brzegu otworu może powstać aż czterokrotnie większe naprężenie od przyłożonego, czyli współczynnik kształtu $\alpha_k = 4$.

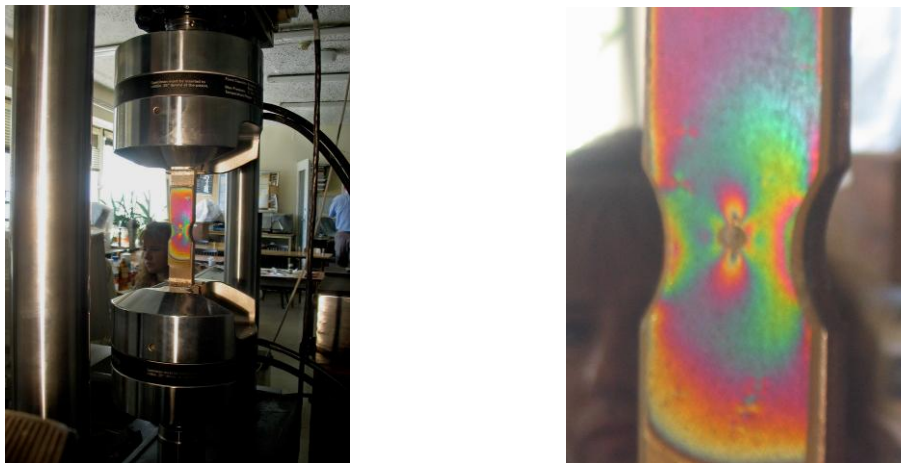


Rys. 6. Rozkład naprężeń wokół otworu w rozciąganej płaskownicy i zależność współczynnika kształtu od stosunku d/b .

Na podstawie rozważań jednoosiowego stanu naprężeń wokół otworu można stwierdzić, że:

- w przekrojach, w których naprężenia normalne osiągają ekstremum, naprężenia styczne są równe zero,
- obecność otworu przy jednoosiowym obciążeniu wywołuje w materiale dwuosiowy stan naprężeń.
- w przypadku ściskania, w pobliżu otworu mogą powstawać naprężenia rozciągające.

W omawianych badaniach ważną rolę odgrywa jakość materiałów elastoptycznych, w tym ich czułość na odkształcenia, technologiczna zdolność do przyczepiania w warunkach górniczych i in. Z tego powodu przeprowadzono testowanie tych materiałów na metalowych próbkach, oklejonych płytkami elastoptycznymi. Na rys. 7 pokazano taką próbkę rozciąganą na maszynie wytrzymałościowej i obserwowaną w świetle spolaryzowanym. Widoczne jest spiętrzenie naprężeń przy zewnętrznych krawędziach, jak również w sąsiedztwie otworu. Z dala od krawędzi, gdzie próbka ma jednakowy przekrój, daje się zaobserwować jednolite zabarwienie czerwone, odpowiadające konkretnej wartości naprężenia w próbce, które można wyliczyć dzieląc znaną siłę rozciągania przez przekrój nominalny metalowej próbki.



Rys.7. Płaska próbka z zewnętrznymi krawędziami i otworem podczas rozciągania.

Wnioski

1. Prezentowana metoda pozwala na szybką, jakościową ocenę poziomu naprężeń na powierzchni badanego elementu.
2. Metoda elastoptyczna jako nieniszcząca metoda oceny poziomu naprężeń może stanowić uzupełnienie do pomiarów tensometrycznych, a także pozwala na konfrontację z obliczeniami np. MES.
3. Badania elastoptyczne pozwalają w łatwy, poglądowy sposób oceniać poziom naprężeń na powierzchni badanego elementów nawet w temperaturze powyżej 15 °C.
4. Metoda elastoptycznej warstwy wierzchniej umożliwia w łatwy sposób ustalić kierunki naprężeń głównych, a dodatkowo pozwala na obserwację obrazu elastoptycznego na powierzchni badanej konstrukcji w obszarze powłoki (jednorazowy obszar badawczy jest znacznie większy niż przykładowo w badaniach punktowych typu tensometria oporowa, czy badania ultradźwiękowe)

Literatura

- [1] Siemieniec A.: Elastooptyka, AGH, Kraków 1977.
- [2] Stachurski W., Siemieniec A.: Badania konstrukcji odlewów metodami elastooptyki
- [3] Biezuchow N.I., Teoria sprężystości i plastyczności, PWN, Warszawa 1957.

PROGRAMOWANIE METODĄ GRAFPOL STEROWNIKÓW PLC STERUJĄCYCH PROCESAMI TECHNOLOGICZNYMI W ODLEWNIACH

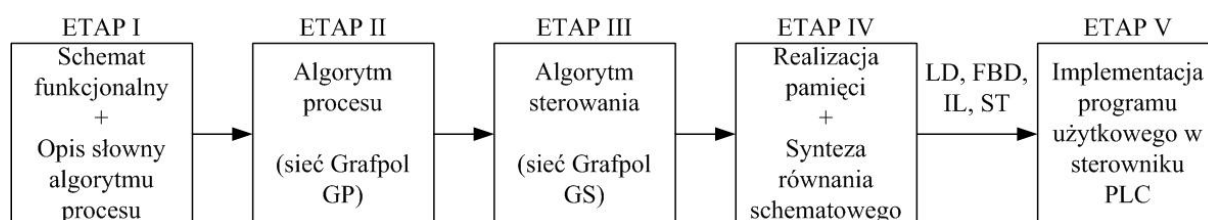
Łukasz DWORZAK¹
Tadeusz MIKULCZYŃSKI²

W pracy zaprezentowano zastosowanie metody Grafpol modelowania i programowania procesów technologicznych sterowników PLC do syntezy programu użytkowego sterowania procesami technologicznymi w odlewniach. Praktyczną realizację przedstawiono na przykładzie mieszarki turbinowej MTP-3000 firmy Technical.

Wstęp

Odlewanie w formach wykonywanych z klasycznych mas formierskich jest wciąż podstawową technologią stosowaną do wytwarzania odlewów. Przed przystąpieniem do wykonania formy konieczne jest sporządzenie odpowiedniej masy do czego wykorzystywane są przede wszystkim mieszarki turbinowe. Ze względu na złożoność tych urządzeń oraz różne algorytmy ich pracy niezbędne jest właściwe zaprogramowanie układu sterowania. W tym celu pomocne są różnego rodzaju metody modelowania i programowania sterowników PLC. W Laboratorium Podstaw Automatyk Instytutu Technologii Maszyn i Automatyk Politechniki Wrocławskiej prowadzone są prace z zakresu metod szybkiego i prostego modelowania i programowania sterowników PLC, których wyniki znajdują zastosowanie również w branży odlewniczej.

W niniejszej pracy przedstawione zostanie praktyczne zastosowanie metody Grafpol modelowania i programowania sterowników PLC, bez konieczności graficznej analizy sygnałów wyjściowych procesu metodą MTS [1] na etapie realizacji pamięci. Poszczególne etapy modelowania metodą Grafpol przedstawiono na rys. 1



Rys. 1. Etapy modelowania wg metody Grafpol

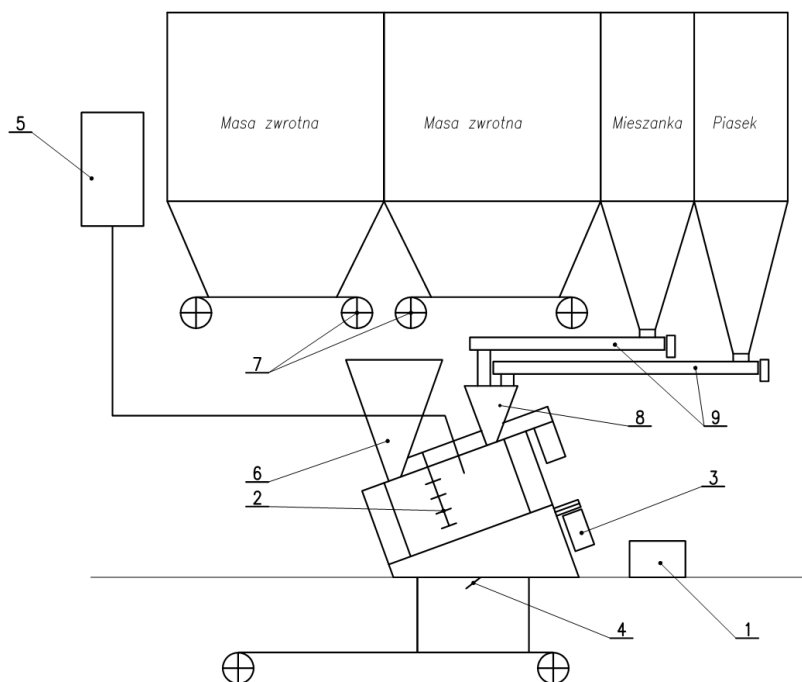
¹ mgr inż., Politechnika Wroclawska

² prof. dr hab. inż., Politechnika Wroclawska, tadeusz.mikulczynski@pwr.wroc.pl

1. Modelowanie i programowanie procesu przerobu masy formierskiej w mieszarce turbinowej

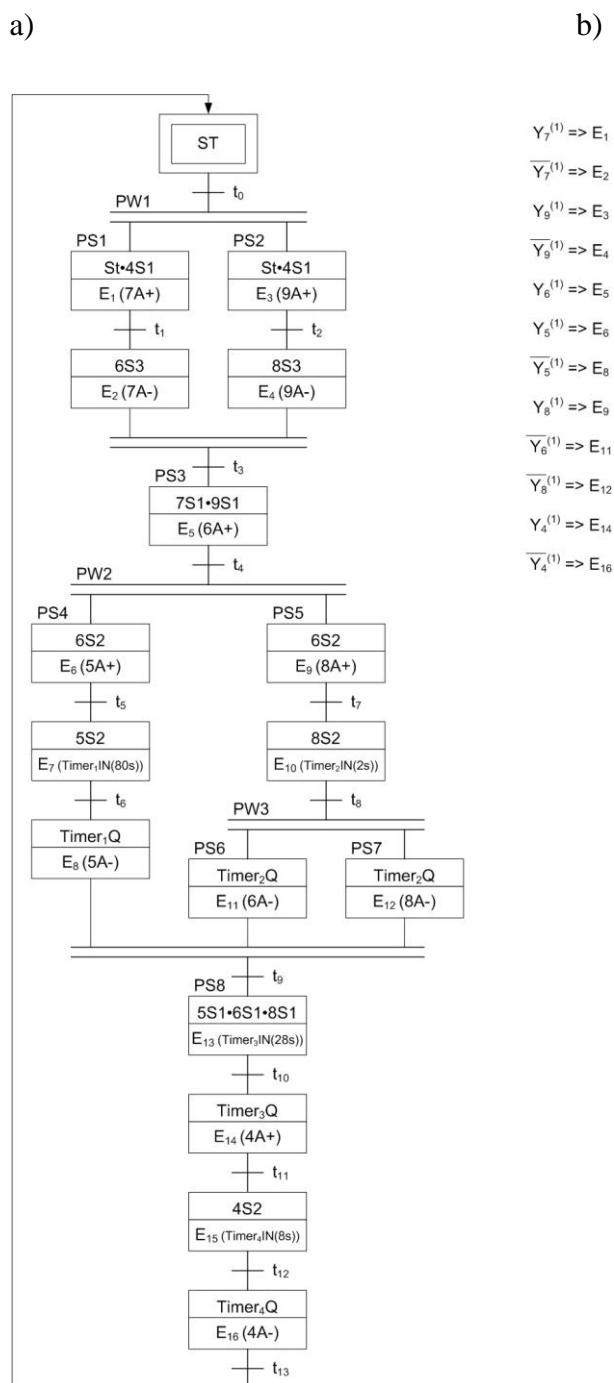
Do przedstawienia praktycznego zastosowania metody Grafpol modelowania i programowania sterowników PLC wybrano mieszarkę turbinową MTP-3000 firmy Technical. Schemat funkcjonalny urządzenia przedstawiono na rys. 2. Ze względu na ciągłą pracę, od momentu włączenia mieszarki, elementy oznaczone 1, 2 i 3 nie są one brane pod uwagę na etapie modelowania procesu. Praca pozostałych podzespołów mieszarki jest realizowana i sygnalizowana w następujący sposób:

- kłapa wysypowa (4) napędzana siłownikiem hydraulicznym sterowanym elektrozaworem 4/2 monostabilnym – oznaczenie cewki 4Y1, sygnalizacja zamknięcia 4S1, sygnalizacja otwarcia 4S2,
- dozownik wody (5) sterowany elektrozaworem 2/2 monostabilnym – oznaczenie cewki 5Y1, sygnalizacja otwarcia 5S2, sygnalizacja zamknięcia 5S1,
- waga tensometryczna masy (6) napędzana siłownikiem pneumatycznym sterowanym elektrozaworem 5/2 monostabilnym – oznaczenie cewki 6Y1, sygnalizacja zamknięcia 6S1, sygnalizacja otwarcia 6S2, sygnalizacja zważenia porcji masy 6S3,
- dozownik masy do wagi (7) napędzany dwoma silnikami sterowanymi stycznikiem monostabilnym – oznaczenie cewki 7Y1, sygnalizacja zatrzymania silnika 7S1,
- waga tensometryczna masy (8) napędzana siłownikiem pneumatycznym sterowanym elektrozaworem 5/2 monostabilnym – oznaczenie cewki 8Y1, sygnalizacja zamknięcia 8S1, sygnalizacja otwarcia 8S2, sygnalizacja zważenia porcji masy 8S3,
- dozownik dodatków do wagi (9) napędzany dwoma silnikami sterowanymi stycznikiem monostabilnym – oznaczenie cewki 9Y1, sygnalizacja zatrzymania silnika 9S1,



Rys. 2. Schemat funkcjonalny mieszarki turbinowej MTP-3000, gdzie: 1 - stacja hydrauliczna, 2 - turbina z napędem, 3 - miska z napędem, 4 - kłapa wysypowa, 5 - dozownik wody, 6 - waga tensometryczna masy, 7 - dozownik masy do wagi, 8 - waga tensometryczna dodatków, 9 - dozownik dodatków do wagi

Mieszarka ma pracować zgodnie z przedstawionym na rys. 3 algorytmem, który zaklasyfikować można jako procedurę złożoną. Składa się on bowiem z ośmiu procedur sekwencyjnych (PS1-PS8) tworzących trzy procedury współbieżne (PW1-PW3) oraz kilku kroków czasowych.



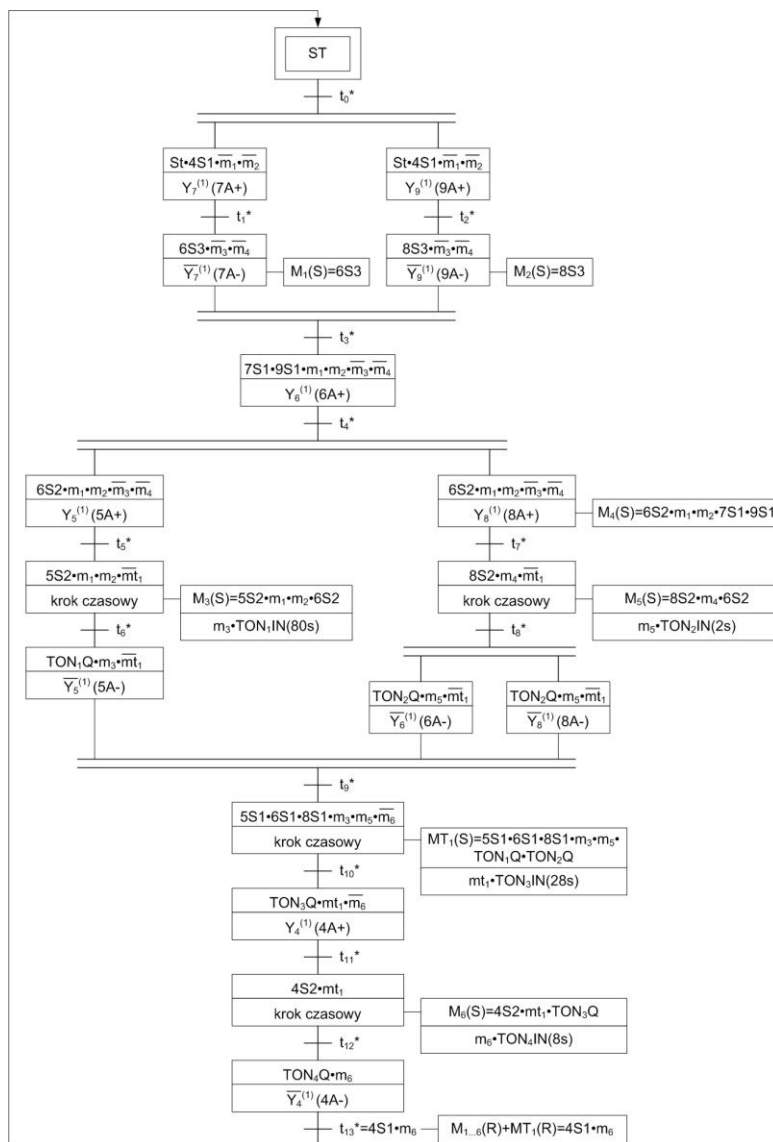
Rys. 3. a) algorytm procesu zapisany za pomocą sieci Grafcop GP, gdzie sygnalizacja poszczególnych etapów procesu mieszania jest następująca: 4A+ otwarcie kłapy wysypowej; 4A- zamknięcie kłapy wysypowej; 5A+ otwarcie dozownika wody; 5A- zamknięcie dozownika wody; 6A+, 8A+ otwarcie wag tensometrycznych; 6A- 8A- zamknięcie wag tensometrycznych; 7A+, 9A+ dozowanie masy i dodatków do wag; 7A-, 9A- zaprzestanie dozowania masy i dodatków do wag, b) odwzorowanie zbioru etapów elementarnych zbiorem sygnałów wyjściowych układu sterowania (np. sterownika PLC)

Algorytm procesu stanowi podstawę do opracowania algorytmu sterowania na podstawie którego jest realizowana pamięć. Algorytm sterowania wraz ze zrealizowaną pamięcią pozwala na wyznaczenie równania schematowego. Równanie schematowe stanowiące sumę funkcji wszystkich zmiennych wyjściowych algorytmu sterowania (Y)

138

oraz elementarnych komórek pamięci (M), jest podstawą do zapisu programu użytkowego sterownika PLC za pomocą dowolnego języka zdefiniowanego w normie PN-EN 61131-3.

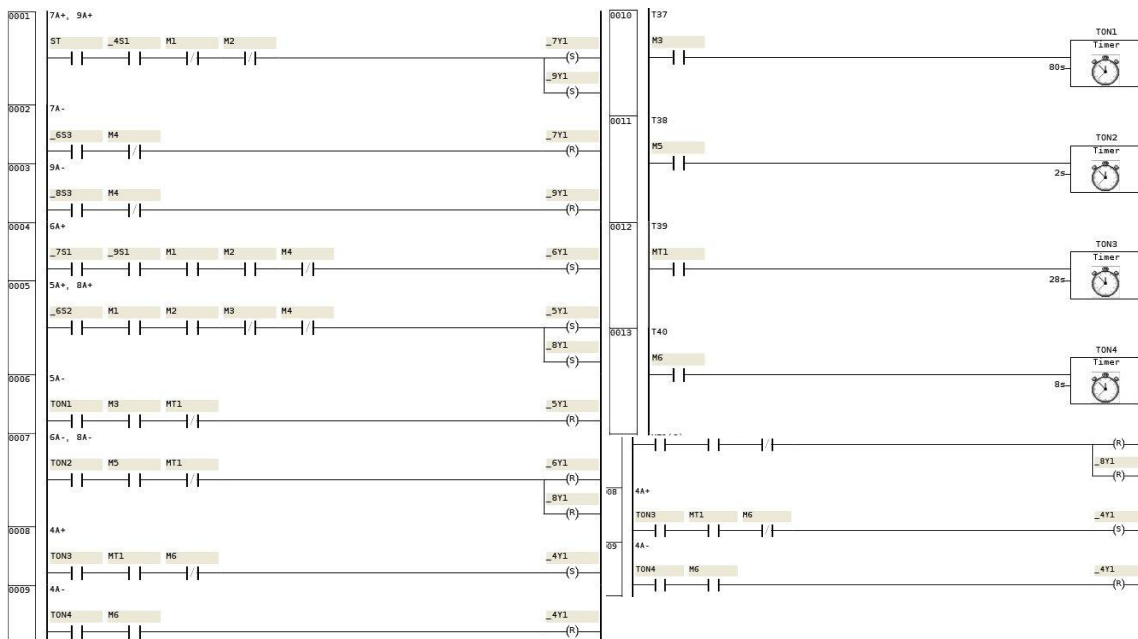
W celu wyznaczenia równania schematowego dla powyższego przykładu zastosowano zasady określania warunków zapisu i kasowania komórek pamięci opisane w pracach [2, 3], zasady syntezy sekwencyjnych algorytmów sterowania zawierających kroki czasowe oraz zasady syntezy współbieżnych algorytmów sterowania opisane w pracy [4]. Dzięki temu zrealizowano algorytm sterowania wraz z pamięciami, który zapisano za pomocą sieci Grafpol GS (rys. 4).



Rys. 4. Algorytm sterowania wraz ze zrealizowaną pamięcią zapisany za pomocą sieci Grafpol GS, gdzie: t_i^* - i -ta tranzycja z uwzględnioną pamięcią

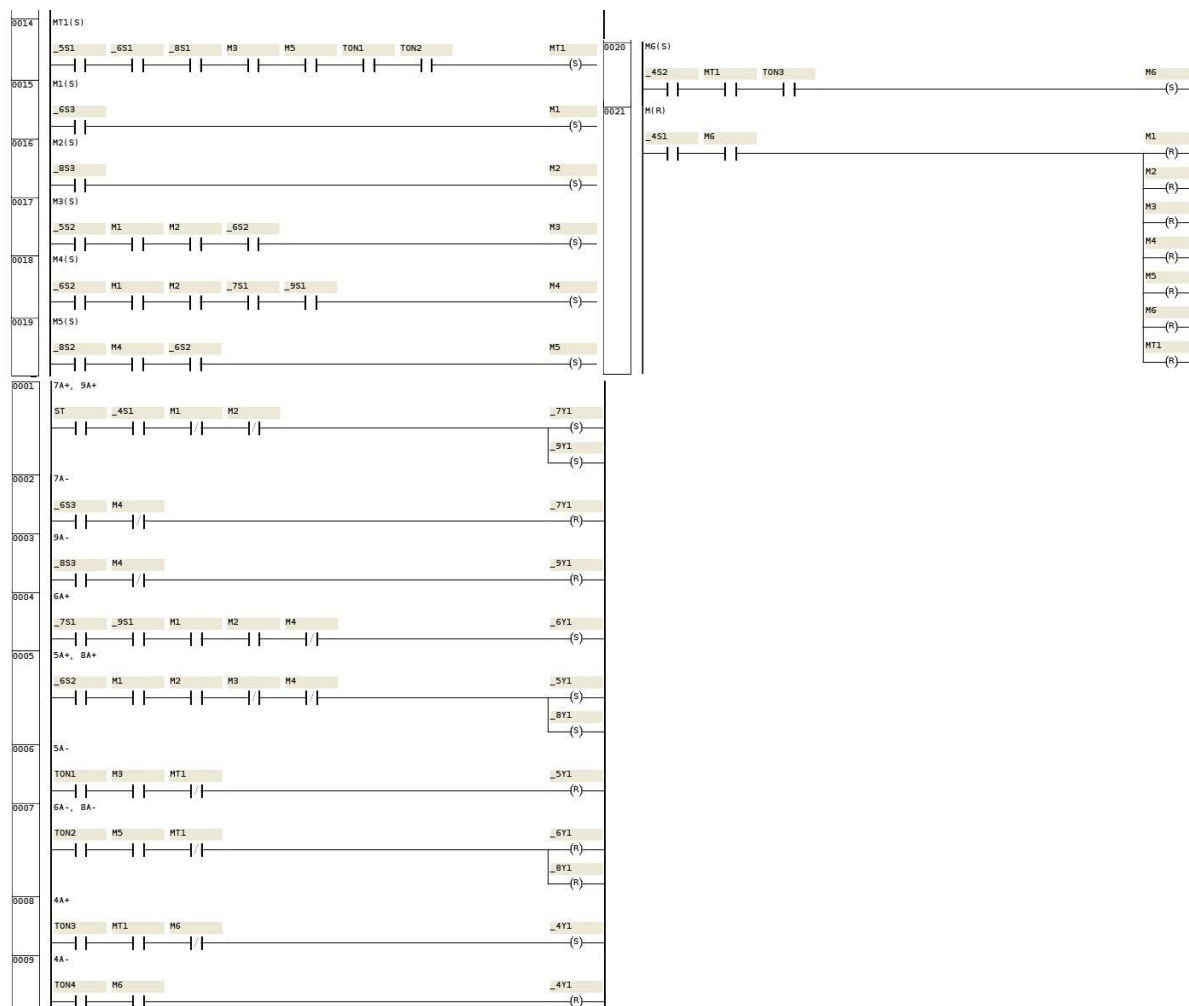
Na podstawie sieci Grafpol GS wyznaczono równanie schematowe (1)

$$\begin{aligned}
 & ST \cdot 4S1 \cdot \overline{m_1} \cdot \overline{m_2} \cdot [Y_7^{(1)}(S) + Y_9^{(1)}(S)], \\
 & 6S3 \cdot \overline{m_3} \cdot \overline{m_4} \cdot Y_7^{(1)}(R), \\
 & 8S3 \cdot \overline{m_3} \cdot \overline{m_4} \cdot Y_9^{(1)}(R), \\
 & 7S1 \cdot 9S1 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \overline{m_3} \cdot \overline{m_4} \cdot Y_6^{(1)}(S), \\
 & 6S2 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \overline{m_3} \cdot \overline{m_4} \cdot [Y_5^{(1)}(S) + Y_8^{(1)}(S)], \\
 & TON_1 Q \cdot m_3 \cdot \overline{m_1} \cdot Y_5^{(1)}(R), \\
 & TON_2 Q \cdot m_5 \cdot \overline{m_1} \cdot [Y_6^{(1)}(R) + Y_8^{(1)}(R)], \\
 & TON_3 Q \cdot m_1 \cdot \overline{m_6} \cdot Y_4^{(1)}(S), \\
 & TON_4 Q \cdot m_6 \cdot Y_4^{(1)}(R), \\
 \\
 F(Y, M) = \sum & \begin{aligned}
 & m_3 \cdot TON_1 IN(80s), \\
 & m_5 \cdot TON_2 IN(2s), \\
 & m_1 \cdot TON_3 IN(28s), \\
 & m_6 \cdot TON_4 IN(8s), \\
 \\
 & 5S1 \cdot 6S1 \cdot 8S1 \cdot m_3 \cdot m_5 \cdot TON_1 Q \cdot TON_2 Q \cdot MT_1(S) \\
 & 6S3 \cdot M_1(S) \\
 & 8S3 \cdot M_2(S) \\
 & 5S2 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot 6S2 \cdot M_3(S) \\
 & 6S2 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot 7S1 \cdot 9S1 \cdot M_4(S) \\
 & 8S2 \cdot m_4 \cdot 6S2 \cdot M_5(S) \\
 & 4S2 \cdot m_1 \cdot TON_3 Q \cdot M_6(S) \\
 & 4S1 \cdot m_6 \cdot [M_{1..6}(R) + MT_1(R)]
 \end{aligned}
 \end{aligned}$$



Rys. 5. Wydruk programu sterownika PLC zapisany za pomocą języka LD (FESTO FEC 440)

Opracowane równanie schematowe (1) stanowi podstawę do zapisu algorytmu sterowania wraz ze zrealizowaną pamięcią jako programu użytkowego sterownika PLC. Wydruk programu zapisanego za pomocą języka LD dla sterownika FESTO przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. (cd.) Wydruk programu sterownika PLC zapisany za pomocą języka LD
(FESTO FEC 440)

Zakończenie

W pracy przedstawiono sposób szybkiego i łatwego wyznaczania postaci równania schematowego procedur złożonych w oparciu o metodę Grafpol dla przykładu mieszarki turbinowej. Dzięki opracowanym zasadom czas syntezy równania schematowego dla przedstawionego algorytmu procesu wyniósł około 10 minut. Jest to istotne skrócenie czasu syntezy w porównaniu z metodą MTS. Istotną zaletą metody jest także konieczność użycia niewielkiej ilości komórek pamięci oraz możliwość implementacji opracowanego równania schematowego jako programu użytkowego zapisany za pomocą języków programowania sterowników zgodnych z normą PN-EN 61131-3.

Literatura

- [1] T. Mikulczyński, Z. Samsonowicz, *Automatyzacja dyskretnych procesów produkcyjnych: metody modelowania procesów dyskretnych i programowania PLC*, WNT, Warszawa 1997
- [2] Ł. Dworzak, S. Ciskowski, T. Mikulczyński, M. Bogdan, *Synteza metodą Grafpol sekwencyjnych algorytmów sterowania*, *Pomiary, Automatyka, Robotyka*. 2009, R. 13, nr 2, s. 686-694
- [3] Ł. Dworzak, T. Mikulczyński, *Synthesis of sequential control algorithms for pneumatic drives controlled by monostable valves*, *Archives of Foundry Engineering*. 2009, vol. 9, iss. 3, s. 35-40
- [4] Ł. Dworzak, T. Mikulczyński, J. Barycki, *Synteza metodą Grafpol współbieżnych algorytmów sterowania napędami pneumatycznymi sterowanymi zaworami bistabilnymi*, *Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne 2009: krajowy sektor w warunkach turbulentnego rynku : międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna*, Wrocław, 7-9 października 2009. Wrocław: Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP, [2009]. s. 66-73

KONSTRUKCJA UKŁADU ZAWIESZKOWEGO DO OCZYSZCZANIA ODLEWÓW WYKONANYCH W TECHNOLOGII WYTAPIANYCH MODELI

Roman WRONA¹
Eugeniusz ZIÓLKOWSKI²
Marcin ŚLAZYK³
Paweł BAŃBUŁA⁴

Wprowadzenie

W technologii wykonania odlewów, etapem końcowym jest proces oczyszczania i wykańczania. Proces ten polega na usunięciu z odlewów masy formierskiej i rdzeniowej, co wiąże się z uzyskaniem odpowiedniej czystości i jakości powierzchni. Spośród wielu metod stosowanych w procesie oczyszczania, dominującą rolę spełnia metoda oczyszczania ściernego. Oczyszczanie ściernie jest wtedy skuteczne, gdy strumień materiału czyszczącego np. śrutu, będzie docierał do wszystkich miejsc, z których należy usunąć masę. Proces oddziaływania strumienia na powierzchnię jest złożony i zależy od konstrukcji oraz parametrów eksploatacyjnych maszyn (oczyszczarek), a także od geometrii przestrzennej odlewu i technologii wykonania formy odlewniczej.

W technologii wytapianych modeli, problem oczyszczania odlewów wynika ze specyfiki wykonania formy, a w szczególności, gdy odlewy są drobne i połączone w zestawy wraz z układem wlewowym. Potocznie zestawy te nazywane są choinkami, co wynika z symetrycznego rozłożenia pojedynczych odlewów wokół wlewu głównego. Sposób połączenia odlewów z wlewem głównym wynika z technologiczności układów doprowadzających oraz z dążenia do uzyskania optymalnej wydajności z zestawu – formy. W konsekwencji otrzymuje się zwartą przestrzennie bryłę, w której zewnętrzne ścianki odlewów są odsłonięte i dostępne dla strumienia śrutu, natomiast wewnętrzne oraz pośrednie ściany są zasłonięte częściowo lub całkowicie przez kolejne odlewy lub centralny układ wlewowy. W podobnym ułożeniu będą otwory przelotowe lub nieprzelotowe. Względem tych powierzchni i otworów strumień śrutu będzie działał w ograniczonym stopniu, powodując niecałkowite oczyszczanie.

Stworzenie w pewnym stopniu dogodnych warunków do oczyszczania, zmierza do zawieszania zestawów na mechanizmie zawieszkowym, którego konstrukcję tworzy układ jezdny i układ zawieszania. W typowych oczyszczarkach układ jezdny stanowi integralną część maszyny, dostosowany do konstrukcji komory oczyszczania i procesu wprowadzania odlewów w strefę działania strumienia czyszczącego.

Natomiast układ zawieszania (potocznie – zawiesie) z reguły jest projektowany indywidualnie do określonego asortymentu odlewów.

¹ prof. dr hab. inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, rwrone@agh.edu.pl

² dr hab. inż., prof. nz., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, ez@agh.edu.pl

³ dr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, mslazyk@agh.edu.pl

⁴ mgr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie

1. Przegląd przemysłowych mechanizmów zawieszania odlewów

Niezależnie od rozwiązań konstrukcyjnych, każdy mechanizm przeznaczony jest do transportu odlewów ze stanowiska ich zawieszania do strefy działania strumienia w komorze maszyny. Kinematyka ruchu mechanizmu jezdnego i konstrukcja układu zawieszania są tymi czynnikami od których zależy efekt i wydajność oczyszczania.

Układy zawieszania wykonywane są jako uchwyty do mocowania pojedynczych, kilku lub kilkunastu odlewów w zależności od ich masy i kształtu oraz do odlewów ułożonych w zestawy o określonej strukturze przestrzennej.

Popularną konstrukcją przeznaczoną do oczyszczania elementów o kształcie kołowym przedstawia rysunek 1 [1].



Rys. 1. Układ zawieszania do odlewów koła, tarczy

Układ ramion zapewnia pozostawienie dostatecznej ilości miejsca pomiędzy oczyszczanymi odlewami co ułatwia dotarcie strumienia do wszystkich oczyszczanych powierzchni, a tym samym uzyskanie dobrych efektów oczyszczania.

Dość oryginalnym rozwiązaniem jest konstrukcja przedstawiona na rysunku 2 [2].



Rys. 2. Układ zawieszania odlewów tulei

Ułożenie odlewów zapewnia swobodę wysypywania się śrutu z profili wewnętrznych przelotowych. Konstrukcja posiada podstawę umożliwiającą nakładanie odlewów w dowolnym miejscu zakładu oraz niezależny transport w rejon działania mechanizmu jezdnego.

Grupę zróżnicowanych układów zawieszania przedstawiono na kolejnych rysunkach [3]. Na rysunku 3 przedstawiona jest prosta zawieszka przeznaczona do oczyszczania odlewów pojedynczych o dużej masie i gabarytach. Zapewnia dobre oczyszczanie powierzchni zewnętrznych, natomiast uniemożliwia oczyszczanie profili wewnętrznych.



Rys. 3. Zawieszka pojedyncza

Do oczyszczania odlewów średniej wielkości o kształcie cylindrycznym stosowany jest układ podany na rysunku 4.



Rys. 4. Zawieszka przeznaczona do oczyszczania odlewów średniej wielkości o kształcie cylindrycznym

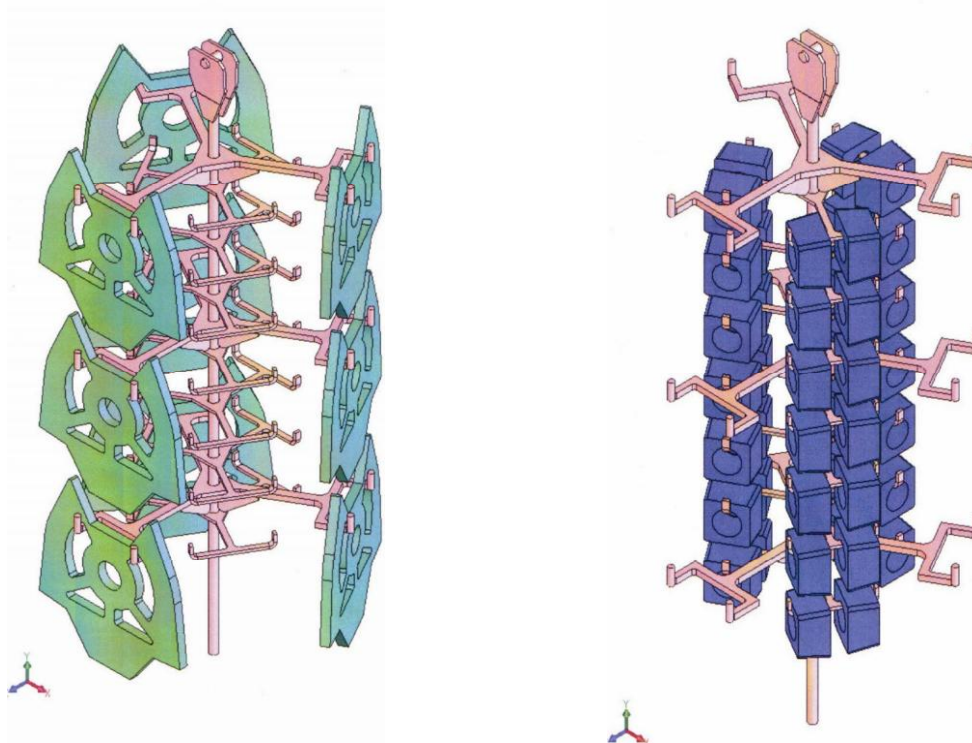
Ułożenie odlewów ułatwia swobodne wysypywanie się czyszczywa z profili wewnętrznych oraz stwarza dobre warunki do oczyszczania powierzchni zewnętrznych.

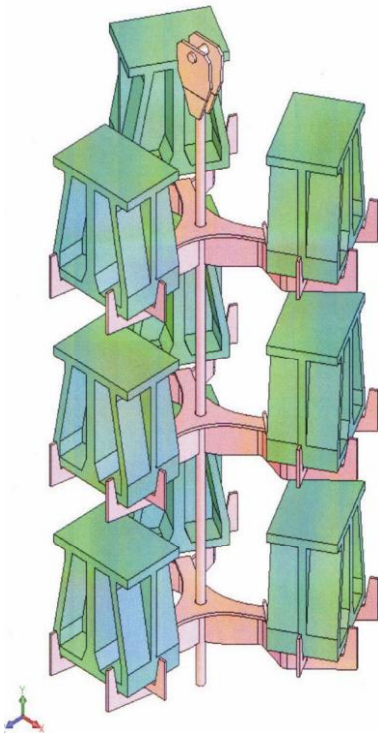
Dość nietypową konstrukcją ażurową układu zawieszania przedstawia rysunek 5 [3]. Zapewnia ułożenie odlewów w jednej płaszczyźnie, co wpływa pozytywnie na efekt oczyszczania.



Rys. 5. Układ zawieszania ażurowy

Projekty indywidualnych rozwiązań o przeznaczeniu uniwersalnym do oczyszczania odlewów płaskich i przestrzennie rozbudowanych przedstawiono na rysunku 6 [4].





Rys. 6. Układ uniwersalny

2. Koncepcja projektowa układu zawieszania zestawów odlewów

Odlewy w zestawach wykonane technologią wytapianych modeli są oczyszczane dwuetapowo. Etap pierwszy polega na zgrubnym udarowym usunięciu masy ceramicznej, natomiast w drugim etapie poddawane są oczyszczaniu metodą ścierną. W tym celu zestawy zawieszane są na prostych ramionach tworzących układ zawieszki (rys. 7) [5].



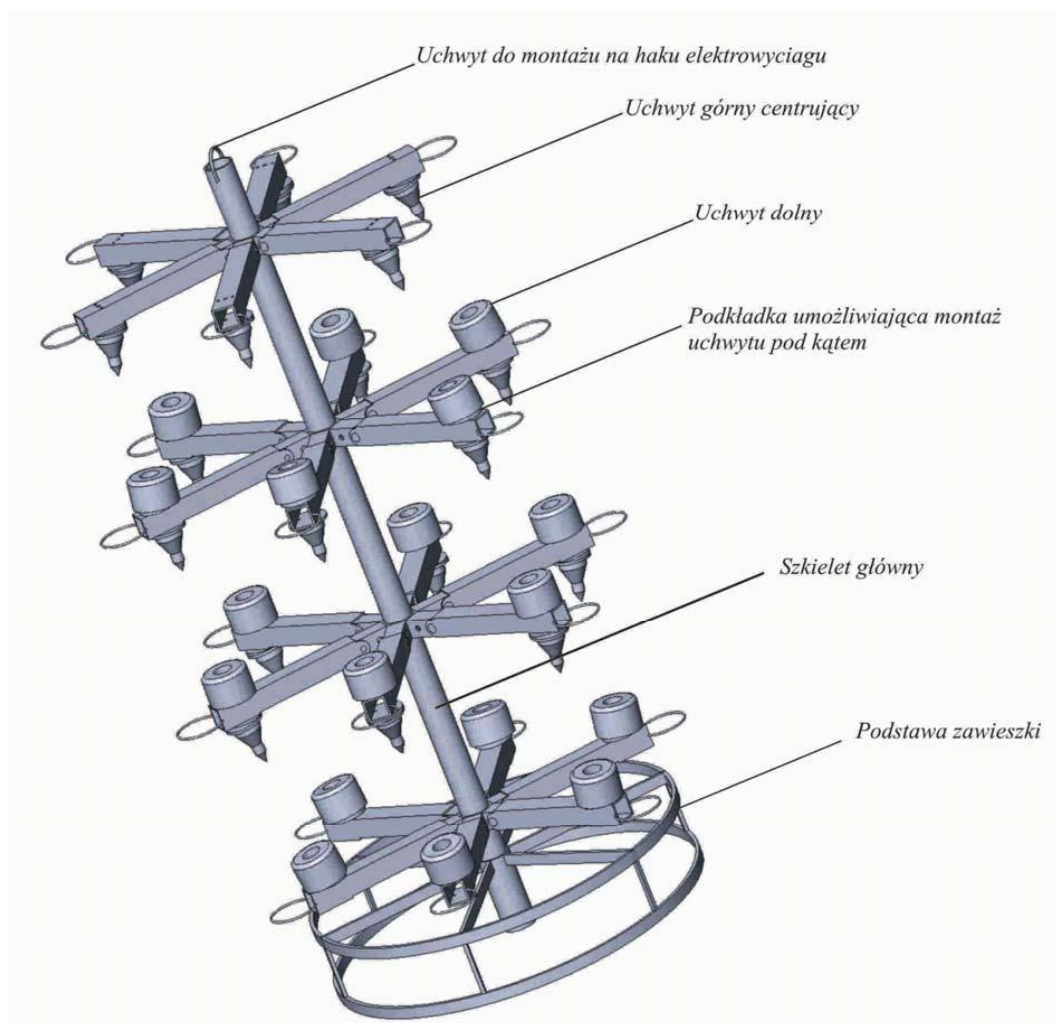
Rys. 7. Zawieszka z zestawami odlewów.

Gęste ułożenie odlewów oraz brak możliwości ich obrotu wokół własnej osi skutkuje powstawaniem tzw. stref cienia, do których nie dociera strumień śrutu. Aby poprawić skuteczność oczyszczania, zestawy odlewów są okresowo obracane ręcznie na ramionach, co wymaga przerywania procesu. Celem obracania w osi pionowej zestawu o pewien kąt, jest ustawienie, pierwotnie zasłoniętych powierzchni odlewów, w strefie działania strumienia śrutu. Pomimo tej operacji całkowite usunięcie masy z odlewów przebiega ze zmiennym efektem.

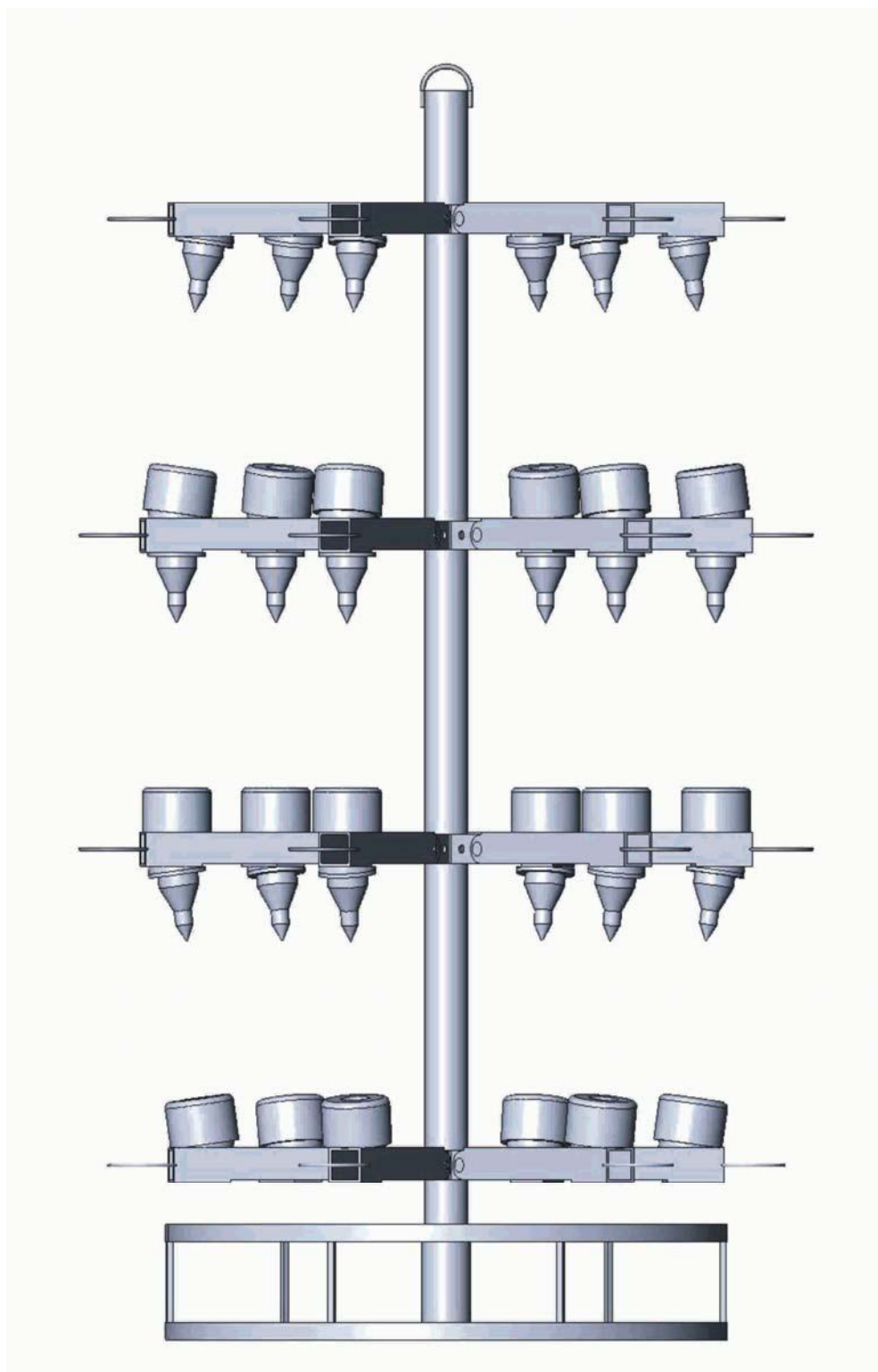
Projektując nową konstrukcję przyjęto założenia wynikające z kinetyki procesu oczyszczania oraz warunków eksploatacyjnych oczyszczarek. Z głównych założeń konstrukcja powinna spełniać takie funkcje jak:

- możliwość działania strumienia na wszystkie powierzchnie odlewów,
- swobodny obrót zestawu odlewów wokół własnej osi pionowej, wywołany działaniem strumienia śrutu na zestaw,
- stabilne i pewne mocowanie zestawu,
- ciągłość procesu,
- łatwą i bezpieczną obsługę.

Koncepcję mogącą spełnić stawiane wymagania przedstawiono na rysunkach 8 i 9 [9].



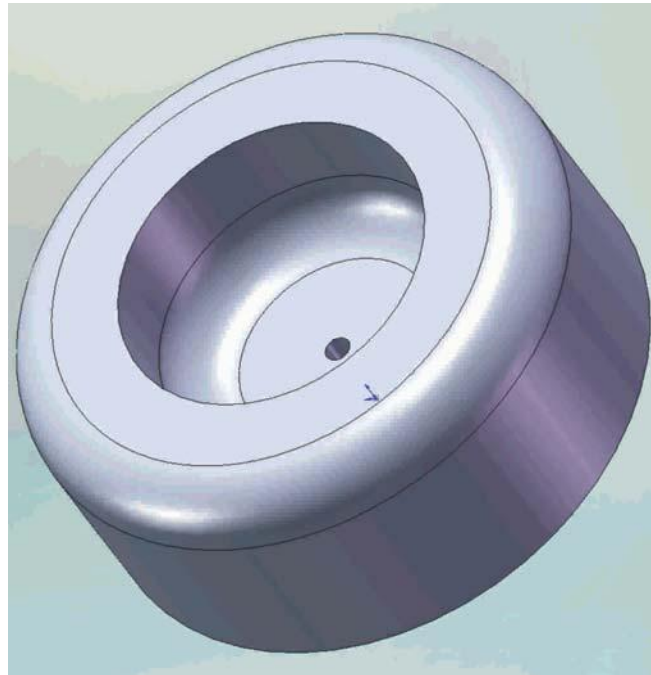
Rys. 8. Widok układu zawieszkowego w ujęciu przestrzennym



Rys. 9. Widok w płaszczyźnie pionowej

Z części składowych układu, główną rolę spełnia uchwyt dolny i uchwyt górny. Uchwyt dolny (rys. 10) stanowi gniazdo obrotowe, w którym ustawiona jest stopa wlewu głównego. Natomiast uchwyt górny (rys. 11 i 12) jest elementem centrującym zestaw poprzez zbiornik wlewu głównego. Pozostałe elementy – szkielet główny, ramię, podstawa, są elementami łączącymi w zintegrowaną całość oraz stabilizującymi układ.

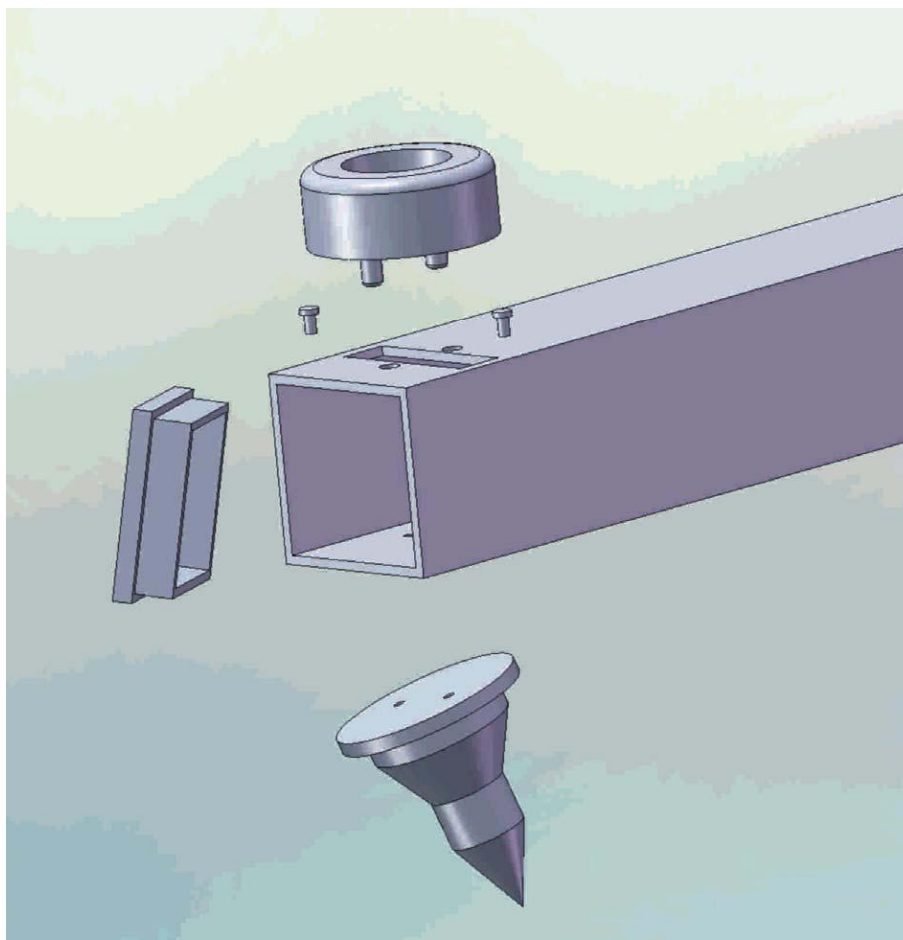
Pomiędzy uchwytem górnym i dolnym oraz ramieniem łączącym mogą być stosowane odmienne konstrukcje przystosowane do zróżnicowanego asortymentu odlewów.



Rys. 10. Uchwyt dolny



Rys. 11. Uchwyt docisk górny



Rys. 12. Uchwyt górny i dolny

Literatura

- [1] Strona internetowa firmy MBJ Polska, www.mbjsc.pl
- [2] Materiały techniczne i handlowe firmy STENA
- [3] Strona internetowa firmy COGEIM, www.cogeinspolska.pl
- [4] Materiały techniczne udostępnione przez Odlewnie Polskie w Starachowicach
- [5] Strona internetowa firmy SPEC-Odlew, www.spec-odlew.pl
- [6] Materiały techniczne i handlowe firmy TECHNICAL
- [7] Strona internetowa firmy TECHNICAL, www.technical.com.pl
- [8] Strona internetowa firmy GG Traiding, www.ggtraiding.pl
- [9] Bańduła P.: Koncepcja projektowa zawieszki do oczyszczarki oczyszczającej odlewy wykonane metodą wytapianych modeli. AGH, paca dyplomowa, Kraków 2008

ANALIZA WPLYWU WYBRANYCH PARAMETRÓW NA CYKL PRACY IMPULSOWEJ MASZYNY FORMIERSKIEJ

Krzysztof SMYKSY¹

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę wpływu wybranych parametrów na przebieg procesu przepływu powietrza w układzie głowica– przestrzeń technologiczna klasycznej formierki impulsowej o jednostopniowym cyklu działania zespołu zaworowego. Ocenę wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych oraz pracy oparto o analizę przebiegów czasowych zmian ciśnienia w głowicy oraz przestrzeni technologicznej. Zwrócono uwagę na związek doboru parametrów maszyny z energochłonnością. Powyższe zagadnienia omówiono na przykładzie rozwiązania formierki FT firmy TECHNICAL, Nowa Sól.

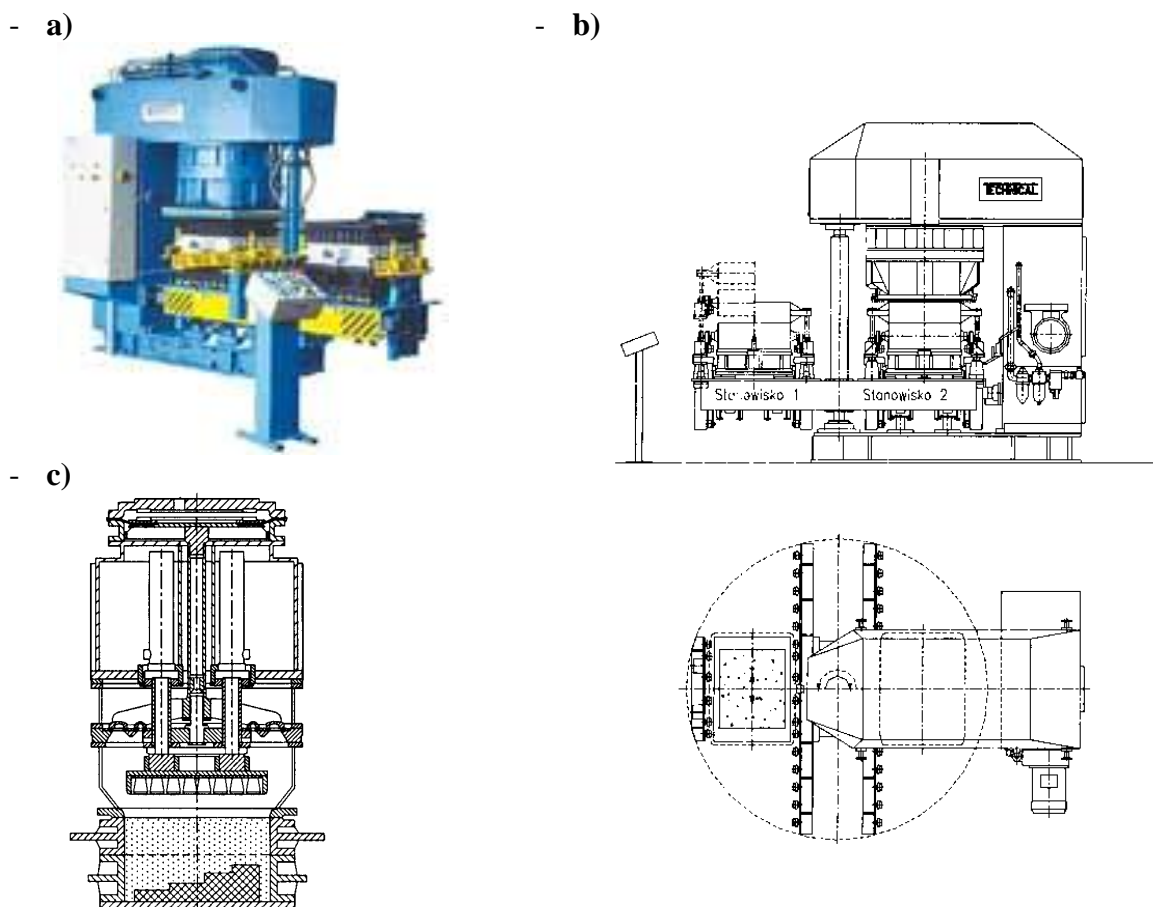
Wstęp

Formowanie na wilgotno jest nadal powszechnie wykorzystywane w produkcji odlewów. Maszyny formierskie, w których pierwszym etapem jest bezpośrednie zagęszczanie masy strumieniem powietrza są obecnie częstym wyposażeniem krajowych odlewni. Do ich podstawowych zalet można zaliczyć: dobre efekty technologiczne, spełnienie wymagań sozotechniki, dużą wydajność oraz stosunkowo prostą konstrukcję. Formierki tego typu realizują różnorodne odmiany zagęszczania. Szybkość narastania ciśnienia powietrza nad zagęszczaną masą może zmieniać się w szerokim zakresie od 1 MPa/s aż do 300 MPa/s [2,3,6]. Oferowane obecnie maszyny są wyposażone w zespoły zaworowe o zróżnicowanych rozwiązaniach technicznych. W maszynach impulsowych konstrukcja głowic, parametry ich pracy (np. początkowe ciśnienie, szybkość działania zaworu) oraz parametry technologiczne (np. właściwości masy formierskiej) wpływają na końcowe efekty zagęszczania [1,3,4,5,7]. O parametrach zagęszczania w pierwszym etapie decyduje cykl działania zespołu zaworowego, charakteryzowany czasowym przebiegiem ciśnienia w przestrzeni technologicznej. W rozwiązaniach praktycznych można spotkać zarówno cykle jednostopniowe, jak i wielostopniowe. W artykule poddano analizie wpływ wybranych czynników na jednostopniowy cykl działania klasycznej formierki impulsowej.

1. Wpływ wybranych czynników na cykl działania formierki impulsowej

Przykładem klasycznych maszyn impulsowych realizujących cykl jednostopniowy są formierki FT firmy TECHNICAL z Nowej Soli [9]. Widok, schemat oraz schemat głowicy maszyny impulsowo- prasującej FT przedstawiono na rysunku 1.

¹ dr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie; ksmyksy@agh.edu.pl

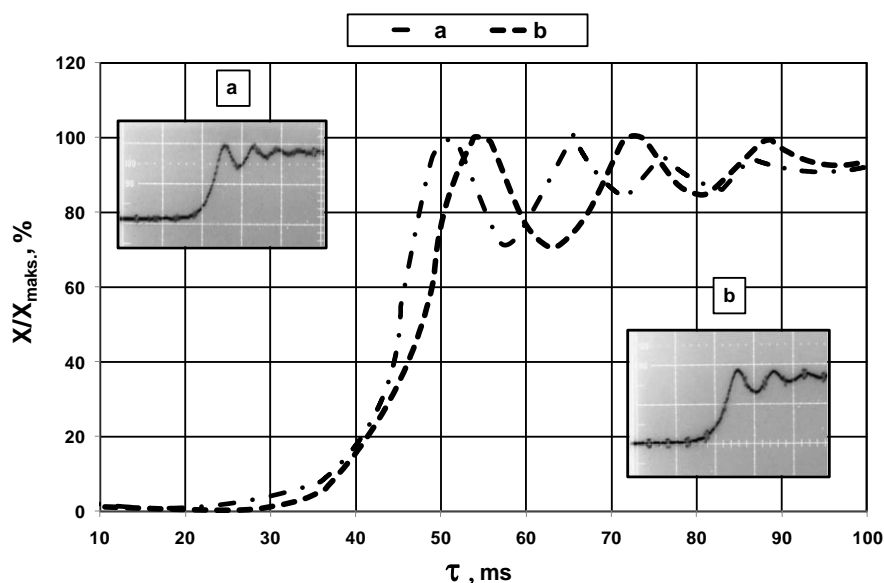


Rys. 1. Widok- a), schemat- b) oraz schemat głowicy impulsowo- prasującej- c) formierki FT firmy TECHNICAL, Nowa Sól [5, 9]

Wyniki szerokich badań formierki FT 65 zaprezentowano w publikacji [4]. Jednym z celów opisanych badań [4] było wprowadzenie zmian konstrukcyjnych zmierzających w kierunku zwiększenia dynamiki procesu impulsowego. W wymienionej publikacji wyniki pomiarów dynamicznych zostały przedstawione w formie fotografii zarejestrowanych przebiegów. Część tych danych w ramach niniejszego opracowania przetworzono i przedstawiono w postaci wykresów (rys. 2 do 3). Ze względu na brak pełnych danych konstrukcyjnych część parametrów przedstawiono w postaci wielkości bezwymiarowych (np. przemieszczenie siłownika napędu zaworu membranowego- rys.2, rys.3).

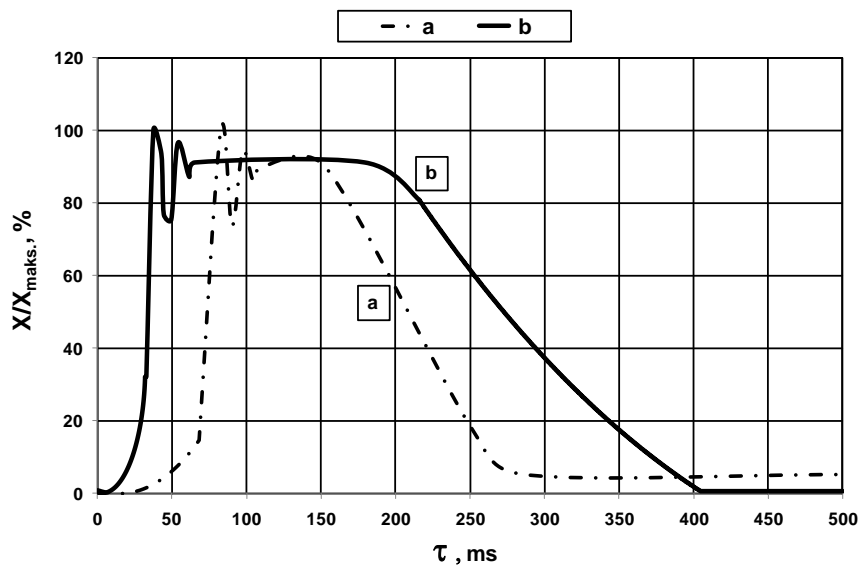
Analizując dane prospektowe firm oferujących maszyny formierskie można wyraźnie zauważyć tendencję zmierzającą w kierunku możliwie szerokiej zmiany dostępnych do regulacji parametrów. Oczywiście takie możliwości zapewnione są również w maszynach FT firmy TECHNICAL.

Pomimo określonej dokładności przetworzonych na podstawie publikacji [4] danych, opracowane wykresy umożliwiają lepsze zobrazowanie możliwości sterowania przebiegiem procesu strumieniowego w formierce FT.



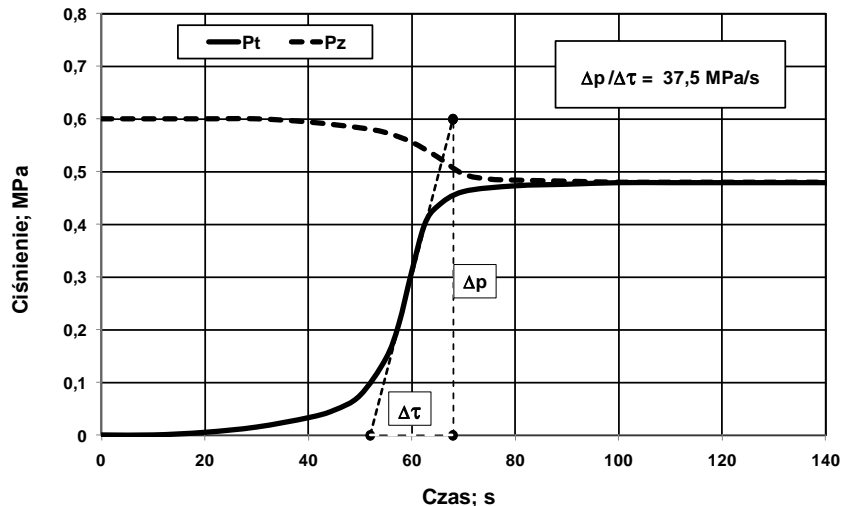
Rys. 2. Przebiegi czasowe względnego przemieszczenia membrany siłownika napędu zaworu impulsowego formierki FT 65 firmy TECHNICAL, Nowa Sól ;seria a- bez tłumienia strumienia powietrza wylotowego z komory siłownika napędu , b – z tłumieniem; a ,b- fotografie zarejestrowanych przebiegów z publikacji źródłowej [4]

Wykresy z rysunku 2 ilustrują możliwość sterowania szybkością otwierania zaworu impulsowego na drodze zmiany dynamiki procesu opróżniania (napełniania) komór siłownika membranowego. Możliwość taka występuje także, jeżeli chodzi o szybkość zamykania zaworu – rys.3.



Rys. 3. Przebiegi czasowe względnego przemieszczenia membrany siłownika napędu zaworu impulsowego formierki FT 65 firmy TECHNICAL, Nowa Sól ;seria a- z akumulatorem powietrza w układzie napędu zaworu, b – bez akumulatora; a ,b- przebiegi odtworzone z fotografii zamieszczonych w publikacji źródłowej [4]

Odpowiedni dobór parametrów procesu impulsowego wpływa oczywiście na przebieg zmian ciśnienia w przestrzeni technologicznej [2,3,8]. Przykładowy wykres przebiegów czasowych ciśnienia w głowicy impulsowej i przestrzeni technologicznej uzyskany podczas badań formierki FT 65 zamieszczono na rysunku 4. Przebieg tego typu może być traktowany jako podstawowy przebieg oceny cyklu działania formierki impulsowej.

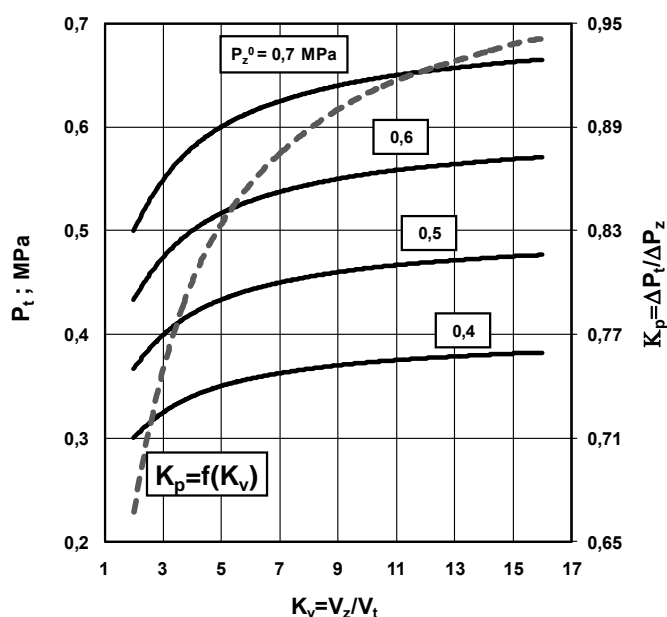


Rys. 4. Przebiegi czasowe ciśnienia w głowicy impulsowej- pz oraz przestrzeni technologicznej – pt formierki FT 65 firmy TECHNICAL, Nowa Sól ;seria a- z akumulatorem powietrza w układzie napędu zaworu, b – bez akumulatora; a ,b- aproksymowane przebiegi, odtworzone z fotografii zamieszczonych w publikacji źródłowej [4]

Podstawową możliwość sterowania przebiegiem procesu impulsowego daje zmiana ciśnienia początkowego w głowicy impulsowej (zapewniona oczywiście w formierkach FT). Jeżeli proces przepływu trwa krócej od czasu zamknięcia zaworu (rys. 3, 4), o wartości ciśnienia maksymalnego osiągniętego w przestrzeni technologicznej decyduje stosunek objętości głowicy impulsowej do objętości przestrzeni technologicznej oraz początkowe ciśnienie w głowicy. Ilustruje to wykres przedstawiony na rysunku 5. Podane równanie zostało zweryfikowane przez autora w trakcie badań prowadzonych na różnych stanowiskach badawczych procesu strumieniowego, w zakresie stosunków V_z/V_t podanych na wykresie (rys.5). Określenie wartości maksymalnego ciśnienia w przestrzeni technologicznej ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia energochłonności procesu. Zapewnienie zamknięcia zaworu po osiągnięciu punktu równowagi w cyklu pracy zespołu impulsowego (rys. 3) również wpływa na poprawę wskaźników energochłonności (przy wystąpieniu ewentualnych nieszczelności w układzie). Ze względu na fakt, że formierki FT wyposażone są w zespół doprasowania uzasadnione jest prowadzenie procesu impulsowego przy możliwie niskiej wartości ciśnienia wyjściowego w głowicy impulsowej. O jego wyborze decydują względy technologiczne: stopień złożoności modeli, właściwości masy formierskiej oraz charakterystyka działania danej maszyny.

Osiągane szybkości narastania ciśnienia w przestrzeni technologicznej nie są już tak łatwe do jednoznacznego określenia – w istotny sposób wpływają na ich wartości parametry konstrukcyjne oraz działania zespołu zaworowego. Pomocnym narzędziem

w określeniu dynamiki procesu przepływu jest symulacja procesu przepływu [2,8]. Przeprowadzenie pełnej symulacji dla rozwiązania formierki FT, według modelu zaproponowanego przez autora [6, 8] wymaga rozwiązania układu co najmniej 9 równań różniczkowych, przy pełnej znajomości parametrów konstrukcyjnych maszyny impulsowej. Na rysunku 6, przedstawiono przykładowe wyniki symulacji według modelu uproszczonego (m. in. przyjęto zlinearyzowane równanie ruchu zaworu oraz założono stałość przemian termodynamicznych w przestrzeniach formierki). Obliczenia wykonano dla przykładowych parametrów podstawowych maszyny formierskiej, przy założeniu określonej prędkości otwierania zaworu. Podane na wykresach wartości dotyczą nadciśnienia (przyjęto wartości ciśnienia atmosferycznego – 0,1 MPa). Wyniki symulacji umożliwiają ocenę wpływu wartości ciśnienia początkowego na dynamikę procesu impulsowego.



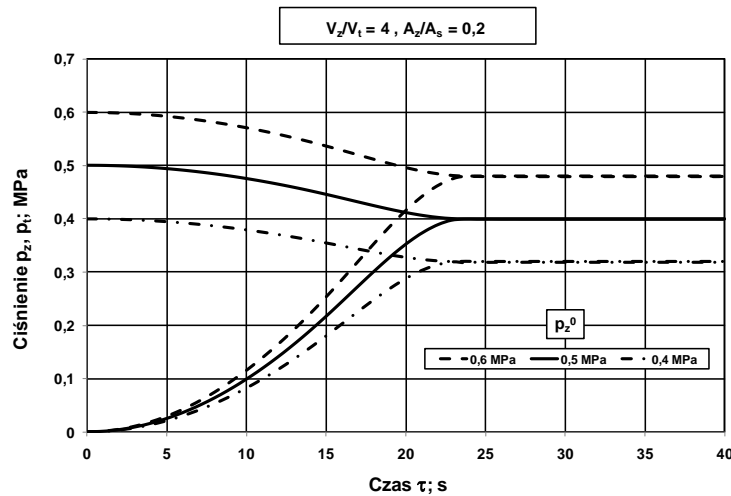
Rys.5. Wyniki obliczeń wartości maksymalnego ciśnienia - P_t ustalającego się w układzie zbiornik wyrównawczy - przestrzeń technologiczna w funkcji stosunku objętości tych przestrzeni V_z/V_t oraz początkowej wartości ciśnienia w głowicy impulsowej- P_z^0 . Linia przerywana stanowi obraz graficzny zależności:

$$K_p = \frac{K_v}{K_v + 1}$$

$K_v = V_z/V_t$ - stosunek objętości odpowiednio: głowicy impulsowej- V_z i przestrzeni technologicznej- V_t .

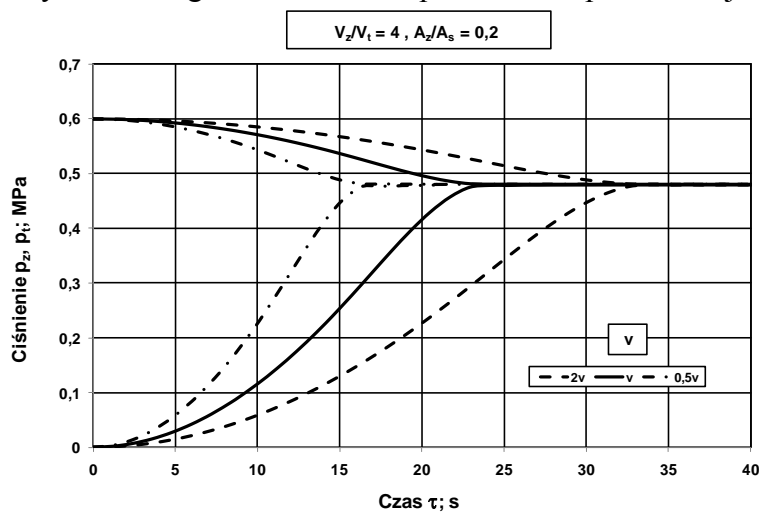
$K_p = \Delta P_t/\Delta P_z = (P_t - P_a)/(P_z - P_a) - P_z$, P_t, P_a - Wartości ciśnienia absolutnego odpowiednio: w głowicy impulsowej (początkowe), przestrzeni technologicznej (końcowe) oraz atmosferyczne.

Ponieważ czas osiągnięcia stanu równowagi dla trzech przebiegów jest zbliżony, zmianie ulega nie tylko ciśnienie końcowe w procesie, ale także szybkość narastania ciśnienia w przestrzeni technologicznej w zależności od przyjętej wartości ciśnienia początkowego w głowicy (rys.6).



Rys. 6. Przebiegi czasowe ciśnienia w głowicy impulsowej w głowicy impulsowej- p_z oraz przestrzeni technologicznej - p_1 przy różnych wartościach ciśnienia początkowego w głowicy. A_z/A_s - stosunek maksymalnej powierzchni przelotowej zaworu do powierzchni skrzyni formierskiej w świetle

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki symulacji, w których w istotny sposób zmieniano szybkość otwierania zaworu. Należy podkreślić, że przyjęte rozwiązanie formierki FT 65 stwarza możliwość zmiany tego parametru w szerokich granicach - pośrednio świadczą o tym dane z rysunku 2. Wyraźna jest możliwość zmiany dynamiki przepływu wyrażona szybkością narastania ciśnienia w przestrzeni technologicznej przy wykorzystaniu sterowania szybkością otwierania zaworu. Oczywiście spostrzeżenie powyższe dotyczy zakresu przyjętych do obliczeń symulacyjnych parametrów. W przyjętym zakresie - przy stosunkowo dużej szybkości otwierania zaworu oraz stosunku objętości głowicy impulsowej do przestrzeni technologicznej, wpływ powierzchni zaworu na dynamikę przepływu ma mniejsze znaczenie - rys. 8 (pomimo relatywnie dużego zakresu zmian powierzchni przelotowej zaworu).

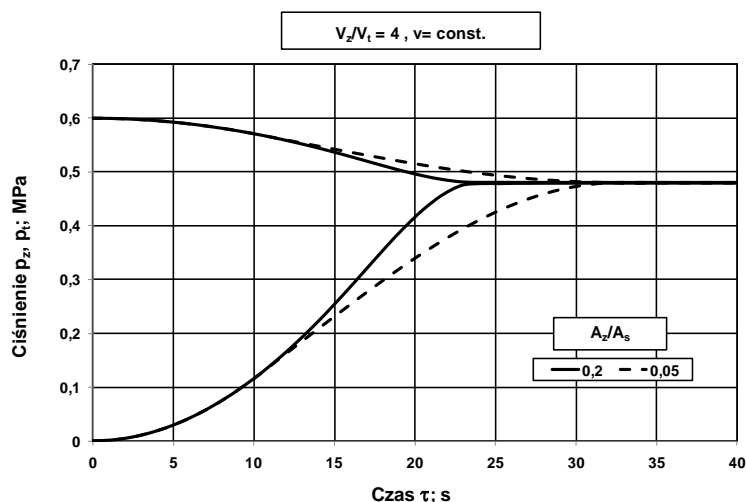


Rys. 7. Przebiegi czasowe ciśnienia w głowicy impulsowej w głowicy impulsowej- p_z oraz przestrzeni technologicznej - p_1 przy różnych wartościach prędkości otwierania zaworu

Oczywiście przy mniejszych wartościach ciśnienia początkowego w stosunku do przyjętego na rysunku 8, różnice w przebiegach ciśnienia mogą być bardziej widoczne. W rozwiązaniu formierki FT zmiana tego parametru byłaby również możliwa.

W zależności od przyjętego rozwiązania głowicy oraz relacji podstawowych parametrów konstrukcyjnych w różnym stopniu występuje współzależność parametrów decydujących o dynamice procesu przepływu powietrza. Przykładowo, w części rozwiązań [6,8] zmiana ciśnienia wyjściowego wpływa również istotnie na szybkość otwierania zaworu.

Jakkolwiek przedstawione parametry mają wpływ na dynamikę procesu impulsowego i określają cykl tego etapu, to ich zmiana praktycznie ma znikomy wpływ na cały cykl pracy formierki impulsowo- prasującej. Wystarczy porównać czas przebiegu procesu przepływu i działania zaworu (poniżej 1 s) z czasem trwania innych operacji formierki FT 65 [4], przykładowo: obrót stołów ~ 6,5 s, oddzielanie (łącznie) ~ 11s, docisk stołu (łącznie) ~ 4,7s, zespół prasowania (łącznie) ~ 7,6s.



Rys. 8. Przebiegi czasowe ciśnienia w głowicy impulsowej w głowicy impulsowej- p_z oraz przestrzeni technologicznej - p_i przy różnych wartościach powierzchni zaworu.

Podsumowanie

Współczesne maszyny formierskie umożliwiają szeroki zakres wyboru parametrów działania. Dotyczy to także maszyn formierskich FT 65, firmy TECHNICAL. W opracowaniu, w zarysie omówiono zagadnienia związane z możliwościami sterowania procesem impulsowym w nowoczesnej formierce i wpływem wybranych parametrów na cykl działania maszyny. Odrębnym zagadnieniem jest ustalenie relacji pomiędzy dynamiką procesu impulsowego a parametrami prasowania dla konkretnych warunków technologicznych. W warunkach przemysłowych- przy zmienności asortymentu odlewów, dobór optymalnych parametrów pracy maszyny w dużej mierze nadal będzie uzależniony od doświadczenia użytkownika formierki. Pełniejsza charakterystyka maszyn formierskich, byłaby jednak ułatwieniem zadania doboru parametrów umożliwiających osiągnięcie zadawalających efektów technologicznych z uwzględnieniem energochłonności procesu formowania.

Opracowano w ramach pracy własnej K. Smyksy, WO AGH, nr 10.10.170.344, 2010r.

Literatura

- [1] Mikulczyński T. i in.: Wpływ składu masy formierskiej na skuteczność zagęszczania impulsowego. *Krzepnięcie Metali i Stopów* nr 43, 2000, str.349-356.
- [2] Mikulczyński T., Bogdan M., Fita S., Ciskowski S., Dworzak Ł. Wybrane badania symulacyjne procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich. XI Konferencja Odlewnicza TECHNICAL, 2008, Nowa Sól, s. 55-60.
- [3] Orłov G. M.: *Avtomatizacija i mechanizacija processa izgotovljenija litiejnych form*. Maszynostrojenije, Moskwa 1988.
- [4] Pezarski F., Izdebska-Szanda I., Leśniewski W., Stefanowicz M., Soliński W.: Analiza wyników badań i prób nowej formierki impulsowo - prasującej FT-65. II Konferencja Odlewnicza TECHNICAL, 1999, Nowa Sól, s. 53-65.
- [5] Rudy Cz., Soliński W.: Mechanizacja procesu formowania w odlewni. III Konferencja Odlewnicza TECHNICAL, 2000, Nowa Sól, 55-71.
- [6] Smyksy K.: Problematyka doboru parametrów impulsowych maszyn formierskich. *Przegląd Odlewnictwa*, 2001, no.7-8, pp. 262–269.
- [7] Smyksy K.: Technologiczne aspekty formowania impulsowego. *Krzepnięcie Metali i Stopów* nr 25, 1995, str.47- 52.
- [8] Smyksy K.: Uwagi o modelowaniu pracy strumieniowych maszyn formierskich. *Nowoczesne technologie w odlewnictwie: XXXII konferencja naukowa z okazji Ogólnopolskiego Dnia Odlewnika 2008*: Kraków, wyd. nauk. „Akapit”, s. 179-186
- [9] Prospekty firmy TECHNICAL, Nowa Sól.

MOŻLIWOŚCI I OGRANICZENIA METODY FORMOWANIA PODCIŚNIENIOWEGO

Marcin ŚLAZYK¹
Roman WRONA²

1. Istota procesu formowania podciśnieniowego

Metoda formowania próżniowego jest jedną z metod pneumatycznego zagęszczania masy w formach zalewanych na wilgotno. Istota tej metody polega na zastosowaniu obniżonego ciśnienia w przestrzeni technologicznej, w której następuje zagęszczenie masy. Efektem w takim procesie jest zagęszczenie masy uważane jako wstępne ze względu na niski stopień zagęszczenia. Ostateczne zagęszczenie określane wymaganiami technologicznymi formy może być osiągnięte poprzez zastosowanie dogęszczenia masy innymi metodami np. poprzez prasowanie. Czynnikiem powodującym zagęszczenie jest działanie gradientu ciśnienia w warstwach masy wypełniających objętość przestrzeni technologicznej np. skrzynki formierskiej. Od wartości gradientu zależy równomierność rozłożenia warstw masy, a w konsekwencji równomierny rozkład wstępnego zagęszczenia w objętości wokół modelu; na powierzchni przymodelowej, pomiędzy modelem a ściankami skrzynki. Jest to bardzo ważny czynnik, szczególnie przy modelach (odlewach) o złożonym kształcie przestrzennym.

Równomierność zagęszczenia masy to bardzo ważny aspekt technologiczny. Jego brak w początkowym okresie formowania może być przyczyną powstawania wad powierzchniowych, bez względu na zagęszczanie wykańczające. Przy odpowiedniej wielkości podciśnienia i odpowiedniej ilości masy, zagęszczenie z reguły przebiega w trakcie jednego cyklu i równocześnie w całej objętości formy. W trakcie procesu następuje wzajemne oddziaływanie poszczególnych warstw masy formierskiej, zorientowane zgodnie z kierunkiem działania gradientu ciśnienia. W wyniku takiego ruchu masy największa wartość zagęszczenia masy formierskiej występuje przy płycie modelowej. Niezależnie od ruchu masy, w całej objętości skrzynki występuje hamowanie przemieszczania się warstw masy spowodowane oporem na powierzchni płyty modelowej. Powoduje to powstanie dodatkowych naprężeń w dolnych warstwach, przekładając się na korzystny rozkład gęstości w dolnych rejonach formy.

2. Charakterystyka instalacji do zagęszczania masy metodą podciśnieniową

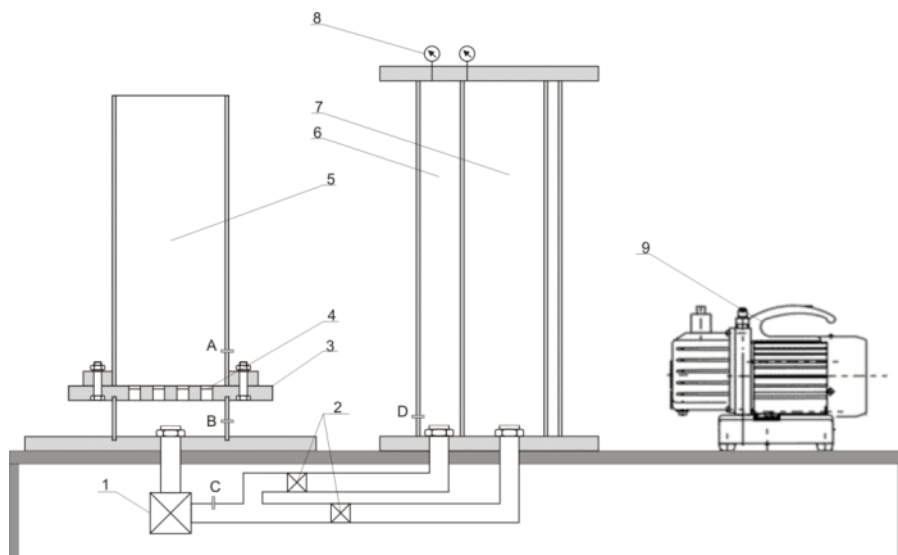
Ogólnie procesy zagęszczania strumieniem powietrza zachodzą w określonej instalacji bez względu na zastosowaną metodę; nadciśnienie lub podciśnienie powietrza. Zasadniczymi elementami tworzącymi taką instalację są (rys. 1):

- źródło wytwarzania „powietrza” (sprężarka lub pompa podciśnieniowa) wraz z instalacją rurową
- zbiornik wyrównawczy w przypadku procesu nadciśnieniowego lub zbiornik próżniowy w procesie podciśnieniowym
- zawór impulsowy (nad- lub podciśnieniowy)
- forma lub rdzennica określana jako przestrzeń technologiczna do zagęszczania masy

¹ mgr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie ; mslazyk @agh.edu.pl

² prof. dr hab. inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie ; rwrona @agh.edu.pl

- zbiornik zewnętrzny wypełniony masą (komora nabojowa) w przypadku procesu z transportem masy



Rys. 1. Schemat instalacji do modelowania procesu formowania podciśnieniowego; 1- zawór impulsowy, 2- zawory kulowe, 3- płyta modelowa, 4- korki odpowietrzające, 5- forma z polimetakrylanu metylu (PMMA), 6- zbiornik podciśnieniowy (duży) z PMMA, 7- zbiornik podciśnieniowy (mały) z PMMA, 8- wakuometry, 9- pompa próżniowa.

Pod względem eksploatacyjnym przyjmuje się, że początkiem instalacji jest źródło powietrza (podciśnienia), a zakończeniem odbiornik (skrzynka formierska) przejmujący energię przepływu strumienia powietrza. Pomiędzy źródłem a odbiornikiem występują elementy, które mają decydujący wpływ na dynamikę przepływu strumienia powietrza i których nieprawidłowy dobór może być powodem powstania tzw. „wąskiego gardła”. Obecność tego zjawiska bezpośrednio wiąże się ze spadkiem efektów zagęszczania masy formierskiej.

Każdy z elementów instalacji jest charakteryzowany parametrami konstrukcyjnymi, do których zalicza się:

- w instalacji rurowej - średnicę, powierzchnię przekroju rzeczywistego rur, długość;
- zawory impulsowe o określonym przekroju kanału przelotowego, szybkości otwierania;
- komory wewnętrzne - o objętości dostosowanej do wymogów technologicznych;
- płyta modelowa o geometrii rozłożenia otworów odpowietrzających i ich powierzchni.

Pomimo, że elementy konstrukcji dla procesu nadciśnieniowego i podciśnieniowego są podobne, to parametry eksploatacyjne się różnią i często używa się określenia, że proces podciśnieniowy jest „odwróceniem” procesu nadciśnieniowego.

W przypadku instalacji podciśnieniowej, parametry eksploatacyjne określają: wartość podciśnienia powietrza, szybkość jego spadku pod płytą modelową, wartość gradientu ciśnienia występującego na warstwach masy formierskiej oraz wydatek masowy powietrza. Wymienione parametry wpływają na efekt dynamiczny procesu przepływu strumienia powietrza w instalacji oraz formie. Mnogość parametrów i ich zmienność

w czasie powodują, że proces podciśnieniowy jest złożony i trudny do jednoznacznej oceny.

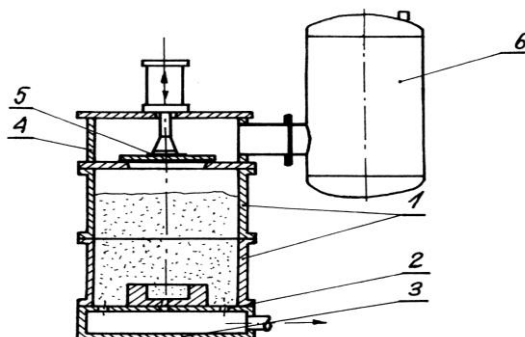
3. Przegląd aktualnie stosowanych instalacji w przemyśle odlewniczym

Dostępne dane literaturowe, wliczając w to prospekty reklamowe producentów oraz informacje w Internecie dotyczące metod bazujących na formowaniu podciśnieniowym, mają jedynie charakter techniczny, a nawet informacyjny. Dane te z reguły są publikowane przez producentów maszyn, w których wykorzystano metodę formowania podciśnieniowego.

W przeciwieństwie do metod formowania, w których używane jest nadciśnienie (sprężone powietrze), metoda zagęszczenia podciśnieniowego jest głównie stosowana we wstępnym zagęszczeniu masy formierskiej. Odmiany tej metody występują w dwóch wariantach różniących się sposobem (momentem czasu), w którym próżnia działa na masę. Pierwszy wariant to proces z transportem masy do wnęki formy, a drugi gdy masa formierska znajduje się już w przestrzeni technologicznej formy.

Metoda podciśnieniowa z powodzeniem jest stosowana w technologii formowania bezskrzynekowego jak i skrzynekowego. Przykładowe rozwiązania dostępne na rynku przedstawiają kolejne rysunki.

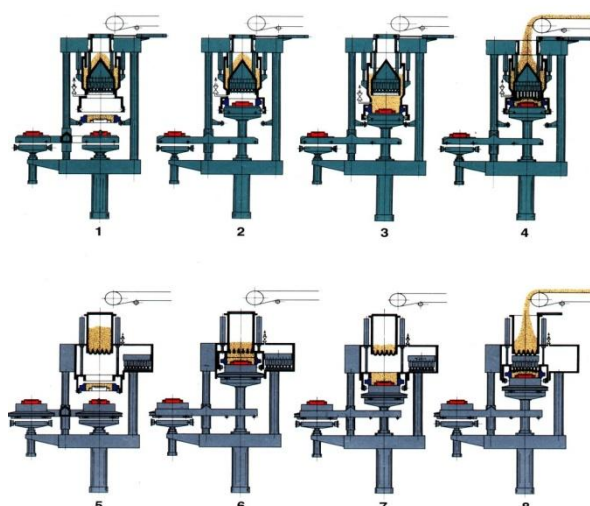
Firma BMD (rys. 2) posiada w swoich rozwiązaniach kilka wariantów formierek podciśnieniowo – impulsowych. Istotną cechą jest to, że podciśnienie w przestrzeni technologicznej wytwarza się po napełnieniu skrzynki masą formierską. Po napełnieniu skrzynki masą, następuje opróżnienie przestrzeni technologicznej, po czym oddziałuje się na masę strumieniem sprężonego powietrza. Automaty tego typu mogą wykonywać jedną jak również dwie półformy jednocześnie.



Rys. 2. Schemat maszyn formierskich wg patentów firmy BMD[2].

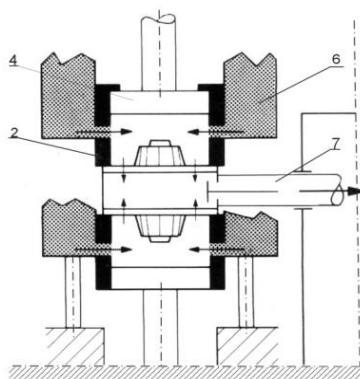
1 – skrzynki formierskie, 2- odpowietrzenia, 3- komora próżniowa, 4 – komora wstępna, 5 – zawór,
6 – zbiornik ciśnieniowy,

Na rysunku 3 zamieszczono schemat maszyn formierskich firmy Künkel – Wagner VACUPRESS. Firma ma w swojej ofercie dwa typy takich maszyn: 1 – z czterostronnym napełnianiem formy i zespołem zamiany płyt modelowych, ze stacjonarną głowicą prasującą, wewnątrz zasobnika masy (1 – 4), 2 – z przejezdną głowicą prasującą, z ułatwioną ewakuacją masy z zasobnika (5 – 8). W obydwu przypadkach doprasowanie odbywa się za pomocą głowicy wielotłokowej.



Rys. 3. Maszyna formierska VACUPRESS firmy Künkel – Wagner

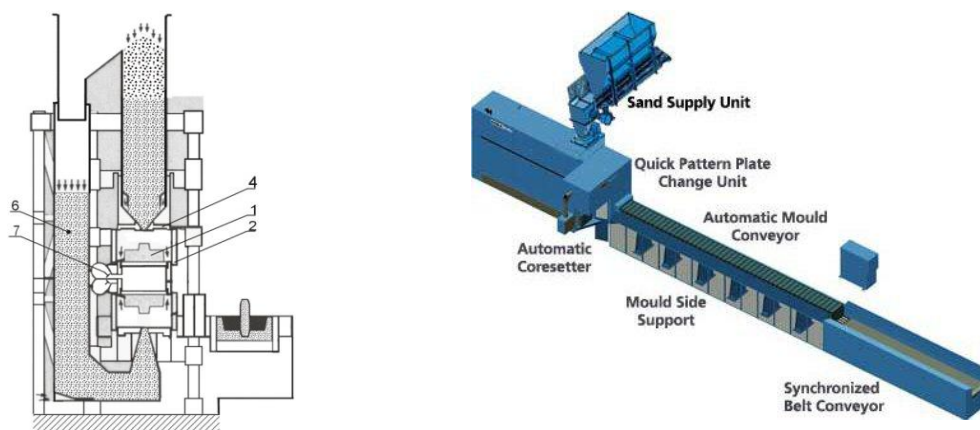
Kolejną firmą która stosuje w swych maszynach podciśnienie jest firma Karl Heinz Sailer. Zastosowano tu metodę Haflingera z bocznym odprowadzeniem powietrza (rys. 3).



Rys. 3. Stanowisko formowania podciśnieniowego z doprasowaniem firmy Haflinger; 2- przestrzeń technologiczna, 4- płyta prasująca, 6- zasobnik masy formierskiej, 7 – instalacja podciśnieniowa

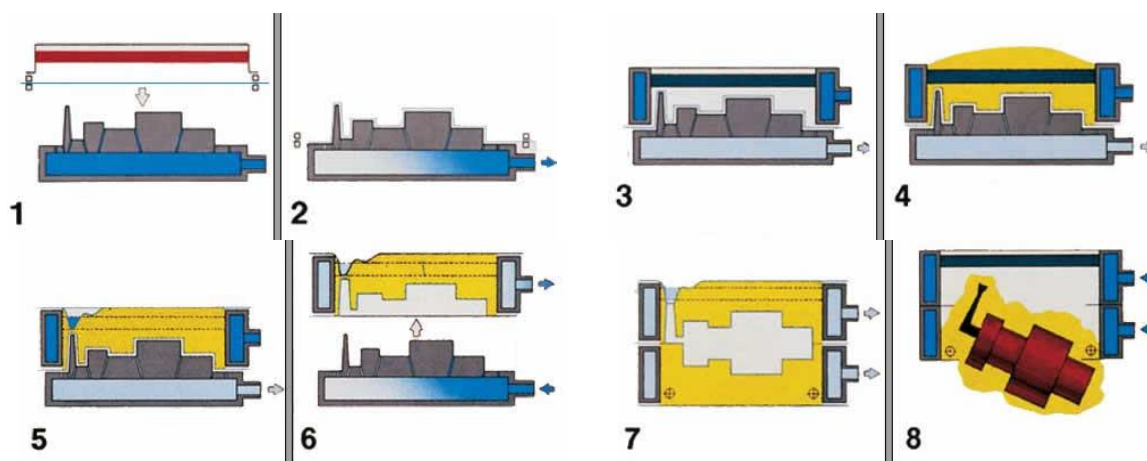
W prezentowanych przykładach proces podciśnieniowy występuje jako swoista odmiana procesu dmuchowego- wywołany połączeniem przestrzeni technologicznej z instalacją próżniową. Gradient ciśnienia i związany z nim przepływ powietrza powoduje transport masy formierskiej z zasobnika do komory formowania. Wartość ciśnienia absolutnego w przestrzeni technologicznej wynosi średnio 20 kPa [1]. Według innych źródeł: 40 do 60 kPa. Z technicznego punktu widzenia są to wartości stosunkowo łatwe do osiągnięcia. Ze względu na niskie wartości gradientu ciśnienia na warstwach masy (efektywny gradient jest niższy od 100 kPa) w metodzie tej nie można oczekiwać wysokich efektów zagęszczania wstępnego. Ostateczne zagęszczenie realizowane jest przez prasowanie w różnych wariantach; główka wielotłokowa, przepona z wypełnieniem.

Firma DISA zaproponowała formowanie podciśnieniem powietrza jako proces wspomagający, tzw. „vacuum assisted moulding” – podciśnieniowe wspomaganie formowania, zasadnicze formowanie jakim jest proces nadciśnieniowy (rys 4).



Rys. 4. Automat formierski DISA 240 firmy DISA; 1- płyta modelowa, 2-przestrzeń technologiczna, 4-płyta prasująca, 5-głowica wielotłokowa, 6-zasobnik masy formierskiej, 7 – instalacja podciśnieniowa

Kolejnym przykładem zastosowania podciśnienia w maszynach formierskich jest proces formowania podciśnieniowego znany jako „V-proces” [1]. Proces ten polega na stosowaniu suchego piasku, zamiast masy formierskiej. Eliminuje to konieczność używania maszyn związanych z formowaniem przy użyciu klasycznej masy formierskiej. Formowanie tego typu wymaga stosowania specjalne płyt modelowych wraz ze skrzynkami formierskimi (konieczność odessania powietrza), system transportu i chłodzenia suchego piasku (po wybiciu formy) oraz system odpylania. Zasada działania procesu została pokazana na rysunku 5. Omawiany proces z powodzeniem stosuje w swoich maszynach niemiecka firma Henrich Wagner Sinto.



Rys.5. Etapy formowania „V-proces”; 1- nałożenie termokurczliwej folii na płytę modelową wyposażoną w systemem odciągania powietrza, 2- odessanie powietrza, 3- nałożenie skrzyni formierskiej na płytę modelową, 4- wypełnienie skrzyni piaskiem oraz wstrząsanie wibracyjne - zwiększenie gęstości pozornej piasku, 5- nałożenie folii na formę, 6- odessanie powietrza ze skrzyni formierskiej i jednoczesne rozszczelnienie płyty modelowej, zdjęcie skrzyni z płyty modelowej, 7- złożenie formy, 8- wybicie po zalaniu formy[2].

4. Ocena możliwości i ograniczeń systemu formowania podciśnieniowego

Zastosowanie techniki podciśnieniowej w odlewnictwie jest obecnie bardzo szerokie i obejmuje szereg bardzo zróżnicowanych procesów technologicznych. Jej zastosowanie w maszynach formierskich dobrze ilustrują przedstawione powyżej przykłady. Podobnie jak w innych dziedzinach przemysłu maszynowego urządzenia techniki próżniowej

osiągnęły bardzo wysoki poziom techniczny. Wynika to zarówno z faktu bardzo dużego postępu w zakresie technik wytwarzania jak też postępu w zakresie układów sterowania pracą urządzeń. Osiągane parametry techniczne i eksploatacyjne współczesnych instalacji podciśnieniowych stwarzają nowe możliwości ich aplikacji w nowych jak i w modernizacji istniejących już maszyn formierskich. O dalszym rozszerzeniu wykorzystania techniki próżniowej zadecydują także aspekty ekonomiczne

Można podkreślić następujące zalety przemawiające za stosowaniem formowania podciśnieniowego jako wstępnego etapu zagęszczania masy formierskiej. Jest to równomierny rozkład zagęszczenia w dolnej i środkowej części formy, dobre odwzorowywanie modelu (dobre zagęszczenie masy w strefie przymodelowej), możliwość stosowania modeli posiadających głębokie szczeliny, zwiększenie dokładności wymiarowej odlewów, małe zapylenie na stanowisku formowania (hermetyzacja procesu), małe zużycie modeli oraz niski poziom emisji hałasu – poniżej 85 dB.

Jako wady tej metody formowania można wymienić utrudnienia w realizacji procesu podciśnieniowego w instalacji spowodowane koniecznością uszczelnienia przestrzeni technologicznej. Małe zagęszczenie górnych warstw formy umożliwia wykorzystanie metody jedynie do zagęszczenia wstępnego [2].

Zastosowanie metody podciśnieniowej w formowaniu skrzynkowym jest możliwe raczej jako metoda pomocnicza, rozszerzającej zakres możliwości maszyn realizujących inne procesy formowania. Dotyczyłoby to procesów formowania przy zastosowaniu trudnych technologicznie modeli. Odpowiada to tendencji wielowariantowej pracy współczesnych maszyn formierskich.

Duży wpływ na efekty formowania ma wysokość warstwy masy w formie oraz wielkość podciśnienia, którego zakres jest dużo mniejszy niż przy formowaniu nadciśnieniowym. Przy doborze wielkości podciśnienia nie można pominąć aspektu ekonomicznego.

Biorąc pod uwagę nakłady energetyczne związane z pracą instalacji podciśnieniowej oraz stosunkowo duże objętości opróżnianych z powietrza przestrzeni można spodziewać się w powyższych układach znaczących nakładów energetycznych (w stosunku do osiągniętych efektów zagęszczania wstępnego). Podobnie jak w innych metodach formowania strumieniowego wymagana jest szczelność przestrzeni technologicznej. Należy również zwrócić szczególną uwagę na parametry masy formierskiej, gdyż proces jest bardzo wrażliwy na stopień jej spulchnienia. W tym przypadku im wyższa warstwa, tym mniejsze będą wartości gęstości. Dopelnieniem procesu zagęszczania masy powinno być doprasowanie metodami pneumatycznymi lub mechanicznymi.

Literatura

- [1] Ślęzyk M.: „Analiza i modelowanie systemu formowania podciśnieniowego”. Rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa. Kraków 2009
- [2] Materiały prospektowe: DOZAMET, DISA, HAFLINGER, HEINRICH WAGNER SINTO, KÜNKEL WAGNER, SAVELLI, TECHNICAL

EKONOMICZNA I NOWOCZESNA PRODUKCJA COLD BOX RDZENI – STRZELARKI GIFOS

Tomáš BAJER¹

Produkcja maszynowa rdzeni odlewniczych metodą cold box amin należy pomiędzy nowoczesne, poszukiwane i bardzo produkcyjne metody wytwarzania rdzeni. Zastosowanie nowych, nowoczesnych strzelarek niewątpliwie swojemu użytkownikowi przynosi szerokie możliwości wytwarzania rozmaitych rdzeni, i to od tych najprostszych, aż po rdzenie dużych wymiarów i rdzenie o skomplikowanych kształtach. W ostatnim czasie jesteśmy świadkami wzrostu udziału rdzeni wymagających zastosowanie rdzeni piaskowych. To twierdzenie polega również na dużej ilości zamówień i na popycie na wytwarzanie rdzeni piaskowych w naszej spółce. Okazuje się też, że jedną z dróg, jak zapobiec odpływu zamówień na Daleki Wschód, k bardzo taniej konkurencji, jest produkcja pracochłonnych odlewów z wysoką wartością dodaną. Między takie odlewy należą kształtem pracochłonne i skomplikowane odlewy o skomplikowanych wewnętrznych kształtach oraz przestrzenie wymagające zastosowanie rdzeni piaskowych.

W przypadku, że odlewnia jest wyposażona w nowoczesne strzelarki potrafi zabezpieczyć wytwarzanie skomplikowanych rdzeni piaskowych i w ten sposób potrafi uzyskać zamówienia na dokładnie takie odlewy z wyższą wartością dodaną i z więcej pracochłonnym wytwarzaniem, których odpływ k taniej konkurencji jest mniej prawdopodobny i nie jest tak prosty. A właśnie w czasie skomplikowanej sytuacji gospodarczej, w której prawie znajdujemy się, mogą więcej pracochłonne odlewy pomóc złagodzić ujemne skutki tej sytuacji finansowej i gospodarczej. Następną zaletą nabycia własnych strzelarek jest możliwość dostarczania rdzeni piaskowych też do innych odlewni.

Jednoznaczną i niewątpliwą zaletą w stosunku do ręcznego wytwarzania rdzeni jest stosunkowo wyższa wydajność, mniejsza pracochłonność i jednoznacznie lepsza higiena pracy przy wytwarzaniu. W porównaniu do starych strzelarek, nowe maszyny oferują wyższą wydajność pracy, więcej ekologiczną eksploatację, wyższą higienę pracy, bardziej prostą i wygodną obsługę maszyny i w nieostatnim przypadku też możliwość pracy przy tej samej wielkości maszyny z o dużo większymi rdzennicami. Tzn., że mogą być wytwarzane bądź większe i więcej skomplikowane rdzenie albo mogą być zastosowane rdzennice wielokrotnego użytku, które na jeden strzał pozwalają – jeden automatyczny cykl maszyny – wytworzyć więcej rdzeni za jednakową jednostkę czasu.

Firma SAND TEAM, Sp. z o. o. Holubice (Republika Czeska) odlewniom dostarcza oprócz surowców i całą gamę maszyn odlewniczych włącznie strzelarek VGi. Strzelarki te są przeznaczone do automatycznego wytwarzania rdzeni piaskowych przy pomocy różnych technologii, jakimi są cold box amin; szkło wodne CO₂; RUDAL; RUDAL CO₂; AlpHaset itp. Mogą być wyposażone w cały szereg różnego rodzaju osprzętu, który ułatwia pracę obsługi i w rezultacie podwyższa produktywność pracy. Pomiędzy takie elementy na pewno należy stół wysuwny, i to przede wszystkim u większych maszyn, gdzie używają się duże i ciężkie rdzennicy. Firma SAND TEAM dostarcza nie tylko poszczególne strzelarki, ale też kompletne wyposażenie maszynowe rdzeniarni, włącznie gospodarki piaskowej. Pomiędzy te urządzenia należy na przykład zbiornik piasku, podajniki pneumatyczne, mieszarki i automatyzowane przygotowalnie masy rdzeniowej dla poszczególne strzelarki, odsysanie maszyn włącznie nowoczesnych jednostek

¹ mgr inż., SAND TEAM Sp.z o.o. Brno, Czechy, bajer@sandteam.cz

filtracyjnych i pralek powietrza odlotowego (aminy) odsysanego z strzelarek. Chodzi więc o kompletne dostawy, tzn. dostawy „na klucz”.

Oczywiście firma SAND TEAM też zabezpiecza wszelki montaż i instalację wszystkich oferowanych urządzeń, ich uruchomienie, wyszkolenie obsługi oraz wszelką konserwację, następnie pomoc technologiczną oraz doradztwo i w nieostatnim rzędzie też serwis gwarancyjny i pogwarancyjny.

Własne strzelarki VGi są uniwersalnymi maszynami, które są w stanie zrealizować szeroką gamę rdzeni piaskowych o różnych kształtach i wielkościach, i to od tych całkowicie najmniejszych, aż po rdzenie o pracochłonnym kształcie i obszerne rdzenie. Zakup tych strzelarek nie zawsze powinien znaczyć zakup nowych rdzennic. W większości przypadków jest możliwe na tych maszynach używać istniejące rdzennice (o ile ich konkretny klient posiada lub ich używa na innych maszynach). Maszyny VGi odznaczają się nowoczesną konstrukcją, niezawodną eksploatacją i bardzo prostym sterowaniem. Ruch głównych części maszyny, którymi są stół do mocowania i imadła, jest rozwiązany przy pomocy odrębnej jednostki hydraulicznej (możliwe jest też podłączenie maszyny do istniejącej instalacji hydraulicznej u klienta). Jednostka ta może być, na żądanie klienta, dwubiegowa, co znaczy, że np. przy rozkładaniu rdzennic jest ruch imadeł (pionowo podzielone rdzennice) i stołu (poziomo podzielone rdzennice) więcej powolny, przez co osiągnie się ostrożnego rozkładania rdzennicy bez uszkodzenia wytworzonej rdzeni i odwrotnie zwykle posuwy są przyspieszone tak, aby doszło do skrócenia czasu technologicznego maszyny. Zastosowanie jednostki hydraulicznej oczywiście zabezpiecza osiągnięcie pożądanej sztywności i sił docisku, które są konieczne przy wytwarzaniu jakościowych rdzeni piaskowych, które odpowiadają z punktu widzenia dokładności kształtu, tak i z punktu widzenia dokładności wymiarów.



Rys 1. Strzelarka VGi 20.0 (Objętość jednego strzału wynosi 20 litrów).

Napęd pneumatyczny tych maszyn jest zastosowany tylko do sterowania posuwu płyty utwardzającej i do sterowania otwierania i zamykania drzwi czołowych. W trybie automatycznym maszyny, każdorazowo przy włączeniu cyklu, samoczynnie zamykają się – zapobiegnięcie kontaktu z ruchomymi częściami maszyny. Po zakończeniu cyklu automatycznego maszyny drzwi znów samoczynnie otwierają się.

Własne sterowanie i nastawianie parametrów technologicznych maszyny jest intuicyjne i bardzo proste. Do nastawiania parametrów technologicznych jest zastosowany graficzny display dotykowy, wgłębiony do pulpitu sterowniczego. Na tym display obsługa nastawia parametry maszyny (o ile jest strzelarka wyposażona w integrowany gaźnik aminy, tak też parametry gaźnika).

Na display są też graficznie i tekstowo wyświetlane czynności, które maszyny aktualnie wykonuje. Następnie są na display wyświetlane ewentualne meldunki błędów. Inne elementy sterownicze są następnie przeglądowo umieszczone w pobliżu displayu graficznego, na pulpicie sterowniczym. Przy pomocy displayu dotykowego obsługa następnie komunikuje z jednostką sterowniczą SIMATIC - SIEMENS.

Chodzi o nowoczesny i dla obsługi bardzo prosty i wygodny sposób sterowania maszyną.

Co odnosi się do zastosowanych rdzennic, maszyny VGi umożliwiają zastosowanie rdzennic jak z poziomą, tak i z pionową płaszczyzną podziału. Mocowanie rdzennic do stołu realizuje się przy pomocy imadeł. Pojedyncze rdzennice następnie mocują się do płyt imadeł, i to przy pomocy docisków (o ile rdzennica rozkłada się automatycznie wewnątrz maszyn) albo rdzennica położy się luzem na stół i imadła po dojechaniu do własnej rdzennicy rdzennice ścisną. Następną możliwością mocowania jest szybko mocujące mocowanie przy pomocy elektromagnesu.



Rys. 2. Strzelarki VGi 20.0 i VGi 12.0. Częścią instalacji jest też automatyczna sekcja przygotowania masy i jej rozwój k poszczególnym maszynom

Z powodu różnorodności wielkości i kształtów używanych rdzennic dostarczana jest uniwersalna głowica strzałowa z wymiennymi płytami, z różnymi otworami strzału, i to z powodu optymalizacji na konkretną rdzennicę. Oczywiście jest optymalizacja nastawienia ciśnienia strzału, czasu i ciśnienia utwardzania aminą, ciśnienia i czasu przepłukiwania powietrzem i innych parametrów technologicznych. Wszystkie te optymalizacje i nastawienia przeprowadzają się na pulpicie sterowniczym maszyny.

1. Krusząka do rdzeni i masy resztkowej

Efektywnym urządzeniem z bardzo ciekawą zwrotnością kosztów nabycia jest krusząka rdzeni DGi, która umożliwia na zastosowanie zużytej masy po wytworzeniu rdzeni, z niezgodnych rdzeni lub z pozostałej masy formierskiej z otworów strzałowych, do wytwarzania nowych rdzeni. W ten sposób pomaga obniżyć koszty przygotowania nowej masy rdzeniowej, jak i koszty przechowywania na zwałowisku. W przypadku Cold Box masy formierskiej, do nowego piasku może być dodane 10% aż 100% piasku z tych rozformowanych rdzeni, i to ze względu na typ i zastosowanie rdzeni. Też w przypadku masy furanowej jest to bez problemów. Też rdzenie wytworzone metodą croning mogą być rozkruszone i piasek z nich może być użyty do wytwarzania rdzeni metodą old box. Procentowe frakcję „regeneratu“ dodawanego do nowej rdzeniowej masy formierskiej należy sprawdzić w eksploatacji, i to ze względu na konkretny typ rdzeni.

Krusząka rdzeni wymaga minimalną konserwację i jej używanie jest bardzo proste i nie jest pracochłonne.



Rys. 3. Krusząka rdzeni i masy resztkowej DGi.



Rys. 4. Krusząka rdzeni i masy resztkowej DGi

2. Nowoczesne technologie wytwarzania rdzeni i form

Sand Team, Sp. z o. o. już przez lata oferuje czeskim, ale i zagranicznym odlewniom fachową pomoc i troskę nie tylko przy wytwarzaniu form i rdzeni, ale też przy realizacji ich przedsięwzięć oraz przy wdrażaniu nowych technologii. Przykładem takiej nowej technologii może być nieorganiczny geopolimeryczny wiążący system Rudal A, który odlewniom dostarcza nowe możliwości wyboru ekologicznego i ekonomicznego wytwarzania form i rdzeni.



Rys. 5 Rdzeń wykonana przy pomocy technologii RUDAL.

Na podstawie potrzeb i życzeń każdego klienta można ten system wiążący wykorzystać jak dla samo twardniejące masy formierskie, tak do mas formierskich utwardzanych przy pomocy CO₂. Dostawą spoiwa niemniej nasze usługi świadczone klientowi nie kończą. Oczywiście jest też nasza pomoc fachowa oraz doradztwo przy wdrażaniu nowej technologii.

Do utwardzania samo twardniejących mas z geopolimerowym spoiwem jest do dyspozycji kilka utwardzaczy, które pozwalają nastawić czas rozkładania form od kilku minut do kilku godzin i ewentualnie można wpływać na czas rozkładania w zależności od temperatury w danej odlewni. Nie ma różnicy, jeżeli chodzi o masy samoutwardzalne formierskie lub o masy formierskie utwardzalne CO₂, ten system wiążący odlewniom przynosi możliwość niższego dawkowania spoiwa, znakomite rozdrabnianie po odlaniu i prostą możliwość regeneracji zużytej masy. Również tutaj nie dochodzi do negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne, co jest bardzo ważnym nie tylko w aktualnym czasie, ale przede wszystkim w przyszłości. Naturalnym jest i możliwość zastosowania dla różnych materiałów metalowych.



Rys. 6. Forma dla odlew staliwny, wykonana przy pomocy technologii RUDAL.

Firma SAND TEAM Sp. z o. o. Holubice swoim klientom oferuje kompleksowe rozwiązanie w dziedzinie wytwarzania rdzeni. Strzelarki VGi stosujemy też w naszej rdzeniarni, która w trójmianowym reżymie zabezpiecza dostawy rdzeni do dużo odlewni. Wszystkie urządzenia jest, więc możliwe zobaczyć pracować w naszej rdzeniarni i kiedykolwiek serdecznie powitamy każdego zainteresowanego. W przypadku zainteresowania jesteśmy też w stanie, jeżeli otrzymamy zezwolenie dotychczasowych klientów klientów, zabezpieczyć wizytę i ich działów produkcyjnych, gdzie już przez nas zostały zainstalowane strzelarki, systemy wiążące i inne wyposażenie maszynowe.

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH SYSTEMÓW POMIARU PARAMETRÓW SIECI ELEKTRYCZNYCH W ASPEKCIE OCENY ENERGOCHŁONNOŚCI MASZYN I URZĄDZEŃ ODLEWNICZYCH

Krzysztof SMYKSY¹
Roman WRONA²
Eugeniusz ZIÓŁKOWSKI³

Wprowadzenie

Zagadnieniom energochłonności maszyn i urządzeń odlewniczych poświęca się obecnie coraz więcej uwagi. Dotyczy to prac badawczych z zakresu optymalizacji procesów technologicznych, działania maszyn i urządzeń odlewniczych oraz ich eksploatacji z uwzględnieniem ważnego kryterium energochłonności.

W artykule przedstawiono charakterystyki techniczne wybranych przyrządów pomiarowych, które można zastosować w systemach monitorowania poboru mocy i zużycia energii zarówno pojedynczych maszyn, jak i grup urządzeń odlewniczych zasilanych z sieci elektroenergetycznej.

1. Charakterystyka wybranych systemów do pomiaru parametrów sieci elektrycznych

Do oceny poboru mocy i zużycia energii przez urządzenia odlewnicze zasilane z sieci energetycznej konieczne jest zastosowanie coraz bardziej zaawansowanych technologicznie przyrządów pomiarowych. Pomiar poboru mocy i/lub zużycia energii może być realizowany dla różnych konfiguracji układów zasilania: w sieciach jednofazowych oraz trójfazowych trzy- i czteroprzewodowych.

W systemach pomiarowych, w których istotne jest zarejestrowanie zmian poboru mocy w krótkich odstępach czasu, najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie analizatorów parametrów sieci elektroenergetycznej. Analizatory te, to mikroprocesorowe systemy pomiarowe, które na podstawie pomiarów wartości chwilowych napięć i prądów wyznaczają, często z zastosowaniem algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów, wartości charakterystycznych parametrów energetycznych.

Do najważniejszych parametrów energetycznych, pozwalających także na ocenę jakości energii elektrycznej można zaliczyć:

- pomiar wartości chwilowych napięć i prądów w każdym kanale pomiarowym,
- pomiar wartości skutecznych napięć i prądów, w tym także wartości prądu w przewodzie zerowym,
- wyznaczanie wartości mocy czynnej, biernej i pozornej,
- pomiar częstotliwości napięcia zasilającego,
- współczynnik mocy, zazwyczaj $\cos\phi$, z sygnalizacją charakteru obciążenia (indukcyjne lub pojemnościowe),
- pomiar zużycia energii czynnej, biernej i całkowitej (pozornej),

¹ dr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, ksmysy@agh.edu.pl

² prof. zw. dr hab.inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, wrona@agh.edu.pl

³ dr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, ez@agh.edu.pl

- pomiar harmoniczných przebiegów napięciowych i prądowych, z ewentualnym wyznaczeniem wartości THD.

Pomiary w kanałach prądowych mogą być realizowane z zastosowaniem boczników prądowych, przekładników prądowych transformatorowych i cęgowych lub w niektórych rozwiązaniach cewek Rogowskiego. Analizatory parametrów sieci posiadają możliwość dostosowania posiadanych czujników prądowych do obwodów wejściowych kanałów pomiarowych.

Na rysunku 1 przedstawiono widok analizatora parametrów sieci jednofazowej typu N30P firmy LUMEL S.A. Jest to miernik przewidziany do zabudowy tablicowej, umożliwiający pomiar: napięcia, prądu, mocy czynnej, biernej i pozornej oraz mocy czynnej 15-minutowej, współczynników mocy $\cos\phi$, $\text{tg}\phi$, kąta ϕ , częstotliwości oraz zużycia energii czynnej, biernej i pozornej. Miernik N30P posiada 4 wyjścia przekaźnikowe, programowalne napięciowe i prądowe wyjścia analogowe oraz wyjście impulsowe do sterowania licznikiem energii. Dodatkowo przyrząd ten wyposażono w interfejs RS-485/Modbus, który umożliwia połączenie z rejestratorem zewnętrznym, na przykład typu KD7 (firmy LUMEL) oraz komputerem z zainstalowanym firmowym oprogramowaniem LPConfig.

Firma LUMEL posiada w swojej ofercie także zaawansowany analizator parametrów sieci (rys. 2), przeznaczony do pracy w sieciach trójfazowych trzy- i czteroprzewodowych. Analizator ten, jak pokazano na rysunku 3, łączy w sobie funkcje: miernika parametrów sieci, przetwornika mierzonych wielkości energetycznych, rejestratora wykonanych pomiarów z zapisem do karty pamięci o maksymalnej pojemności 4 GB, serwera WWW lub FTP plików z wynikami pomiarów oraz regulatora w systemie produkcyjnym.



Rys. 1. Widok tablicowego analizatora parametrów jednofazowej sieci energetycznej [1]



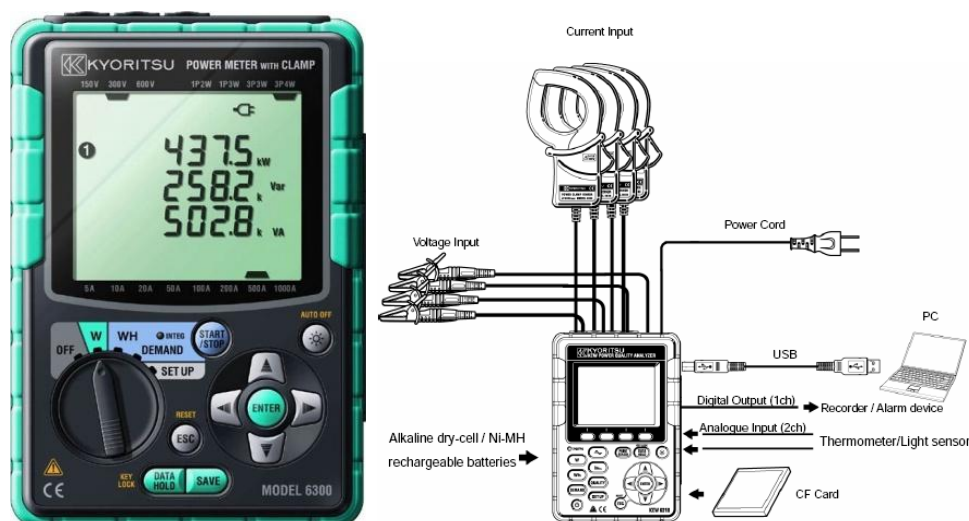
Rys. 2. Widok trójfazowego analizatora parametrów sieci typu ND1 firmy LUMEL [1]

Kolejnym przykładem przyrządu do pomiarów parametrów energetycznych w zasilaniu urządzeń jest analizator typu KEW6310 japońskiej firmy Kyoritsu.

Analizator KEW6310 (rys. 4) jest przenośnym rejestratorem mierzonych wielkości energetycznych z zastosowanym cyfrowym przetwarzaniem sygnałów określających parametry jakościowe energii elektrycznej.



Rys.3. Funkcje realizowane przez analizator parametrów sieci typu ND1 firmy LUMEL [1]



Rys. 4. Widok panelu czołowego oraz schemat połączeń analizatora parametrów sieci energetycznej typu KEW6310 firmy Kyoritsu [2]

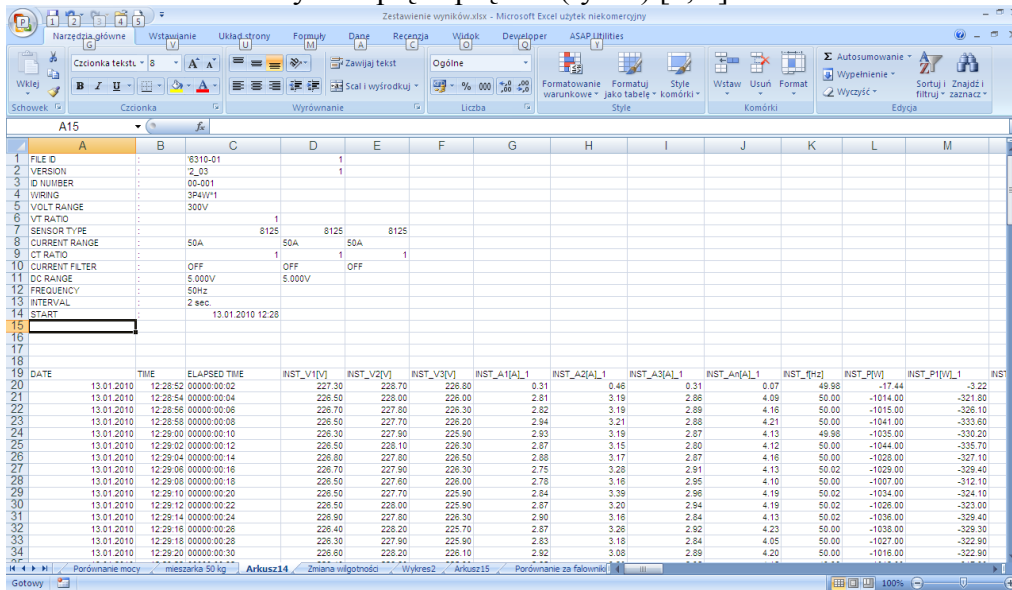
Analizator KEW6310 posiada gniazdo kart pamięci Compact Flash o maksymalnej pojemności 1 GB, na której można zapisywać wyniki pomiarów i obliczeń parametrów jakościowych sieci energetycznej. Przyrząd ten umożliwia podłączenie do czterech prądowych cęgów pomiarowych o zakresie do 3 kA. Analizator posiada również funkcję zapisu prądów rozruchowych oraz współczynnika asymetrii. Po podłączeniu czujnika KEW8325, analizator KEW6310 dokonuje pomiaru parametrów charakteryzujących zjawisko migotania światła. KEW6310 posiada także funkcję obliczania wartości pojemności baterii kondensatorów kompensujących moc bierną w układzie zasilania badanych urządzeń.

Na rysunku 5 przedstawiono widok arkusza kalkulacyjnego, do którego zaimportowano wyniki pomiarów z analizatora KEW6310. Analizator zapisuje wyniki pomiarów do karty pamięci w formacie CSV. W arkuszu MS Excel należy dokonać konwersji danych tak, aby można było przedstawić na przykład w postaci wykresów przebiegi wybranych wielkości pomiarowych. Tą procedurę zastosowano przy pomiarach w układzie zasilania mieszarki łopatkowej MS-75 firmy DOZAMET, podczas procesu mieszania masy wraz z dozowaniem wody. Przykład zaistniałej zmiany wartości pobranej mocy czynnej, biernej i pozornej oraz współczynnika mocy $\cos\phi$, przedstawiono na rysunku 6. Pomiarzy były rejestrowane w dwusekundowych odstępach czasowych.

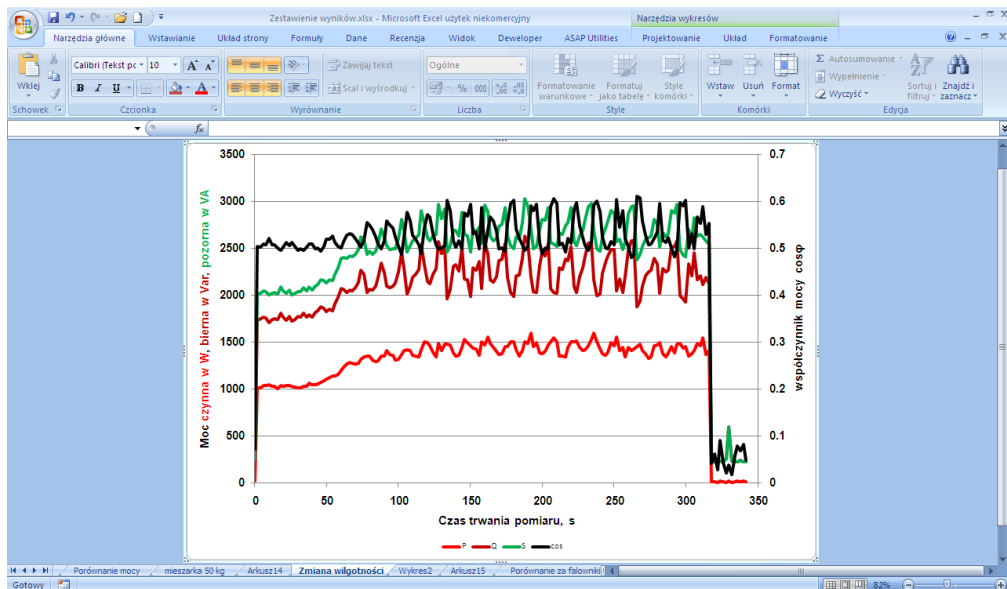
Kolejnym przykładem przyrządu pomiarowego mobilnego jest analizator jakości zasilania typu PQM-701 firmy Sonel (rys. 7). Analizator, po podłączeniu do komputera za pomocą portu USB lub poprzez transmisję radiową, jest konfigurowany programem komputerowym *Sonel Analiza*. Program ten oprócz możliwości konfigurowania miernika pozwala także na odczyt danych z rejestratora, podgląd parametrów sieci w czasie rzeczywistym oraz raportowanie wszelkich sesji pomiarowych [3]. Funkcjonalnie miernik PQM-701 jest zbliżony do przyrządu KEW6310. Obudowa przyrządu PQM-701 jest

przystosowana do prowadzenia pomiarów na stanowiskach badawczych a także poprzez instalację na słupach energetycznych.

Przedstawione powyżej przyrządy pomiarowe są przewidziane do zainstalowania pomiędzy gniazdem sieci energetycznej a badanym odbiornikiem. Zakres częstotliwości podstawowej przebiegów napięciowych wynosi około 40÷60 Hz. Urządzenia te nie mogą być instalowane pomiędzy falownikiem a odbiornikiem, jeśli częstotliwość pierwszej harmonicznej wykracza poza ten zakres. Aby można było realizować pomiary parametrów energetycznych w układzie zasilania odbiorników z falowników, w Pracowni Mechanizacji, Automatykacji i Projektowania Odlewni (Wydział Odlewnictwa AGH) zaprojektowano i wykonano we współpracy z Katedrą Metrologii (Wydział EAIe AGH) rejestrator wartości chwilowych napięć i prądów (rys. 8) [4, 5].



Rys. 5. Widok okienka arkusza kalkulacyjnego z zaimportowanymi z karty pamięci analizatora KEW 6310 wynikami pomiarów



Rys. 6. Widok okienka arkusza kalkulacyjnego z wykresem zmian wartości pobranej mocy czynnej, biernej i pozornej oraz współczynnika $\cos\phi$, po zadozowaniu dodatkowej ilości wody w procesie sporządzania masy formierskiej w mieszarce łopatkowej MS-75 firmy DOZAMET



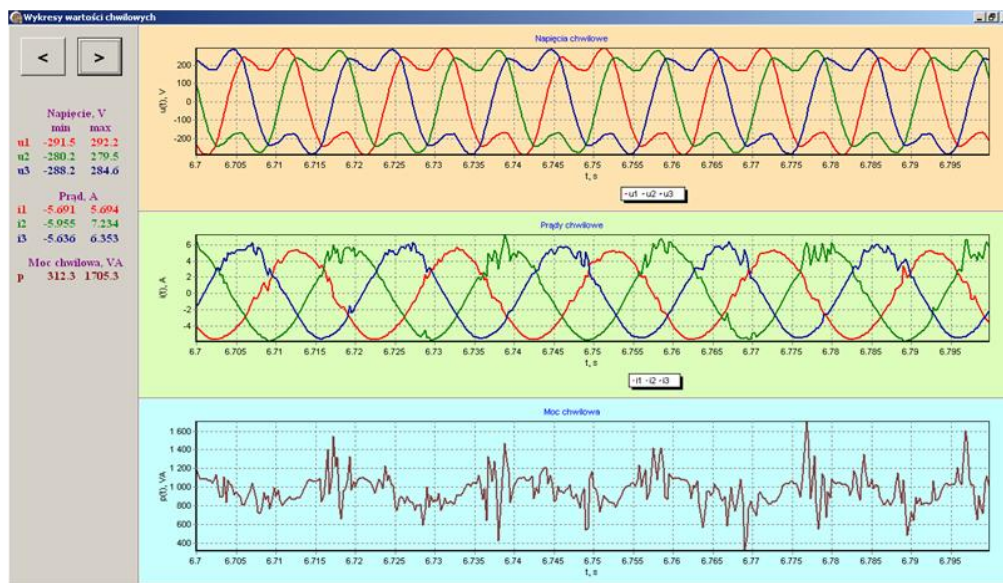
Rys. 7. Widok przenośnego analizatora jakości zasilania typu PQM-701 firmy Sonel [3]



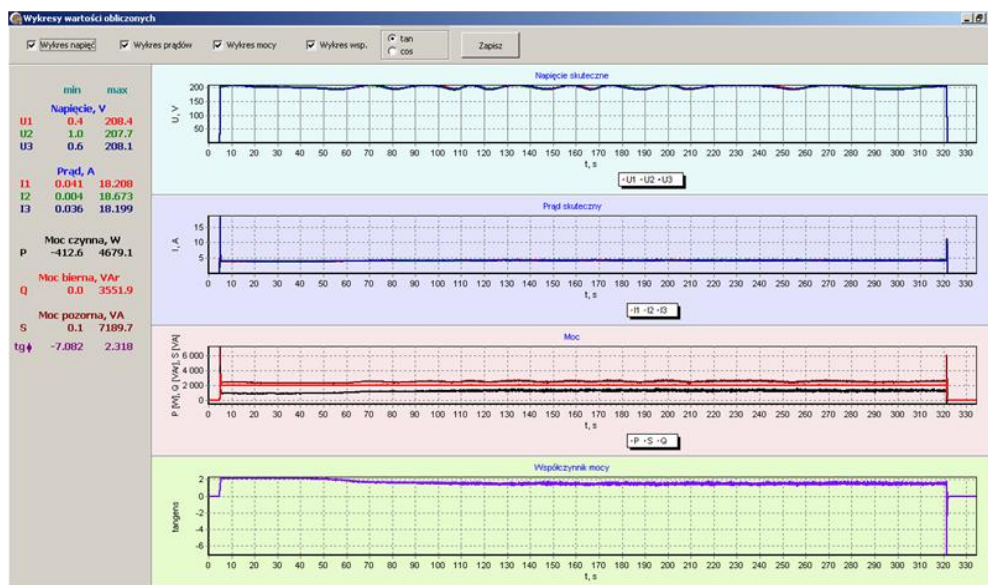
Rys. 8. Widok 3-fazowego rejestratora wartości chwilowych napięć i prądów

Rejestrator pokazany na rysunku 8 posiada wbudowane przekładniki prądowe firmy LEM, o zakresie mierzonego natężenia prądu do 20 A dla każdej fazy. Przyrząd ten pozwala na rejestrację 4000 pomiarów na sekundę w każdym z sześciu kanałów pomiarowych. Szczegółowy opis techniczny i funkcjonalny rejestratora można znaleźć na przykład w [4, 5]. Do zapisu i analizy wyników pomiarów oraz wykonania niezbędnych obliczeń algorytmami cyfrowego przetwarzania sygnałów należy zastosować specjalizowany program komputerowy.

Na rysunku 9 przedstawiono przykładowy widok okienka z zarejestrowanymi przebiegami chwilowymi napięć, prądów, mocy chwilowej podczas pracy mieszarki łopatkowej zasilanej z falownika. Rysunek 10 przedstawia wykres zmian wartości poboru mocy czynnej, biernej i pozornej oraz współczynnika mocy $\text{tg}\varphi$, obliczonych na podstawie zebranych pomiarów wartości chwilowych.



Rys. 9. Widok okienka programu komputerowego z wykresami zmian wartości chwilowych napięć, prądów i mocy w układzie zasilania z falownika mieszarki łopatkowej MS-75



Rys. 10. Widok okienka z wykresami zmian wartości skutecznej obliczonej mocy czynnej, biernej i pozornej oraz współczynnika mocy $\text{tg}\phi$ dla układu zasilania z falownika mieszarki łopatkowej MS-75

Podsumowanie

Pomiar poboru mocy przez urządzenia odlewnicze może być wykonany za pomocą analizatorów jakości sieci energetycznej, które włączane są pomiędzy gniazdo zasilania, a badane urządzenie. Oferta takich analizatorów jest dość obszerna, w niniejszym artykule przedstawiono skróconą charakterystykę kilku przyrządów tego typu. Do pomiarów wartości chwilowych napięć i prądów w układzie zasilania pomiędzy falownikiem a badanym urządzeniem można zastosować specjalizowany rejestrator opracowany w Pracowni Mechanizacji, Automatykacji i Projektowania Odlewni. Pozwala on na znacznie rozszerzoną analizę zmian wartości parametrów energetycznych, wyznaczanych z zastosowaniem algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2010 jako projekt
badawczy nr N N507 432934*

Literatura

- [1] www.lumel.pl
- [2] www.kyoritsu.pl
- [3] www.sonel.pl
- [4] Ziółkowski E., Wrona R., Smyksy K.: The monitoring of the electrical energy quality supplied to the foundry devices. Archives of Foundry Engineering. Polish Academy of Sciences. Commission of Foundry Engineering. 2008 vol. 8 spec. iss. 2, pp. 143–148.
- [5] Wrona R., Smyksy K., Ziółkowski E.: Zastosowanie monitoringu poboru mocy przez maszyny i urządzenia odlewnicze do oceny energochłonności procesu technologicznego. XXXI Konferencja Naukowa z okazji Święta Odlewnika 2007 „Nowoczesne technologie w odlewnictwie”. Wydział Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej, Stowarzyszenie Techniczne Odlewników Polskich. Oddział Krakowski, Fundacja Wydziału Odlewnictwa AGH. Kraków, 2007, s. 51–56.

MONOLITYCZNE MATERIAŁY OGNIOTRWAŁE DO ZASTOSOWAŃ W ODLEWNICTWIE

Izabela MAJCHROWICZ¹

Jerzy WITEK²

Józef BARAŃSKI³

Mirosław CHOLEWA⁴

1. Wprowadzenie

Monolityczne materiały ogniotrwałe (nieformowane, niewypalane), produkowane w postaci różnego rodzaju mas i betonów, znajdują coraz większe zastosowanie w przemyśle, stopniowo wypierając tradycyjne materiały ogniotrwałe, formowane i wypalane. W ICiMB – Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach opracowano i udoskonalono szereg tego typu materiałów, stosowanych z powodzeniem w metalurgii żelaza i metali nieżelaznych, koksownictwie, przemyśle cementowym i odlewniczym. Wynikiem zrealizowanych prac są między innymi betony nisko- i ultraniskocementowe, a także bezcementowe i samolejne, oraz betony z różnymi dodatkami modyfikującymi, których użycie pozwoliło bądź to na zmniejszenie zawartości wody zarobowej i zwiększenie ich wytrzymałości na ściskanie, bądź na zastosowanie tych materiałów w miejscach narażonych na szczególnie agresywne oddziaływanie czynników korozyjnych i erozyjnych. Na rynku dostępnych jest wiele gatunków i odmian betonów ogniotrwałych. O wyborze do zastosowania decydują warunki eksploatacyjne panujące w miejscu zabudowy. Podstawowymi składnikami wszystkich betonów ogniotrwałych są kruszywo i spoiwo. Oba składniki miesza się i zarabia wodą, uzyskując masę betonową, której montaż w wyłożeniu ogniotrwałym odbywa się poprzez odlewanie z wibrowaniem, torkretowanie lub ubijanie. Wysoką wytrzymałość na ściskanie betony te uzyskują już po 24 godzinach wiązania. Trwałą strukturę ceramiczną uzyskują w czasie wstępnego wygrzewania i wypalania w trakcie późniejszej eksploatacji. W betonach ogniotrwałych stosowane są dwa rodzaje spoiw:

- hydrauliczne
- chemiczne

Hydraulicznie wiązane betony ogniotrwałe zawierają do 30% cementu glinowego. Cementy portlandzkie używane są bardzo rzadko, tylko w szczególnych przypadkach. Natomiast w przypadku betonów, których wiązanie ma charakter chemiczny, jako spoiwa stosowane są najczęściej związki fosforu i krzemu. Początek produkcji betonów ogniotrwałych sięga lat 20-tych XX wieku, kiedy to w Stanach Zjednoczonych beton zaczęto wykorzystywać do wyłożeń kotłów i urządzeń w rafineriach ropy naftowej. Tworzywo to zawierało stosunkowo dużą ilość cementu glinowego, który wówczas cechował się dosyć niskim stopniem czystości, w związku z czym, jakość betonu

¹ mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach

² mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach

³ mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach

⁴ prof. dr hab. inż. Politechnika Śląska

pozostawiała wiele do życzenia. Wprowadzenie na rynek cementu glinowego ze zmniejszoną zawartością zanieczyszczeń (krzemionka, tlenek żelaza) spowodowało gwałtowny rozwój w dziedzinie technologii i stosowania betonów ogniotrwałych, prowadząc do opracowania tworzyw o ulepszonych własnościach fizyko-chemicznych oraz większej odporności termo-mechanicznej i korozyjno-erozyjnej [1].

2. Rodzaje betonów ogniotrwałych

2.1 Betony konwencjonalne (tradycyjne - CC)

Betony konwencjonalne zawierają 15-35% cementu glinowego. Wadą tych materiałów jest charakterystyczny spadek wytrzymałości w temperaturze 600-1000°C, związany z odwodnieniem hydratów, mała odporność spoiwa hydraulicznego na korozję, a także stosunkowo wysoka zawartość wody zarobowej, stwarzająca niebezpieczeństwo pęknięcia i powodująca konieczność długiego wygrzewania obmurzy betonowych przed oddaniem ich do eksploatacji. Beton konwencjonalny wymaga także kłopotliwej pielęgnacji, polegającej na okresowym zraszaniu go wodą. Związane jest to z tym, że w trakcie wiązania cementu wydziela się znaczna ilość ciepła. Przy dużej zawartości cementu, ciepło to powoduje wysuszenie betonu przed zakończeniem wiązania cementu, czyli przed uzyskaniem odpowiedniej wytrzymałości tworzywa. W związku z powyższym, opracowano nowe generacje betonów o zmniejszonej zawartości cementu, co pozwoliło wyeliminować niektóre wyżej wymienione wady.

2.2 Betony niskocementowe (LCC)

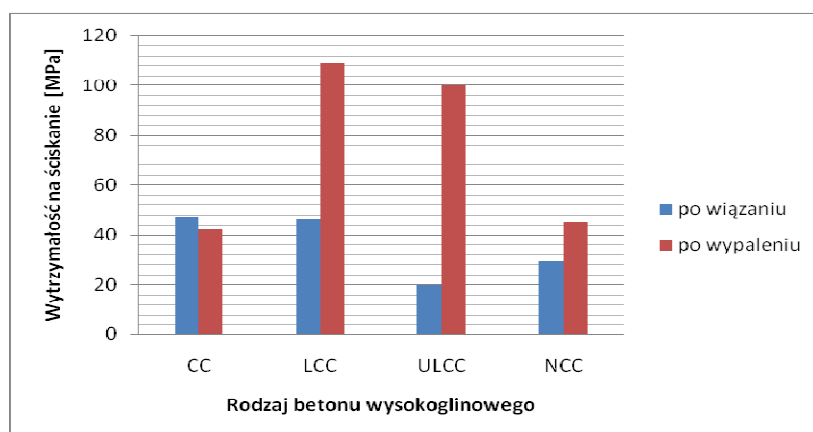
Początki technologii betonów niskocementowych sięgają roku 1962. Betony te jednak nie znalazły zastosowania, ze względu na niską czystość cementu, obniżającą właściwości użytkowe materiału. Zaczęto je stosować dopiero w roku 1974 wraz z wprowadzeniem na rynek cementów glinowych o obniżonej zawartości zanieczyszczeń. Betony niskocementowe zawierają 5-8% cementu oraz mikrokrzemionkę, proszki tlenku glinu, magnezu, chromu. Mieszanka ta zawiera także upłynniacze. Betony takie nie wykazują spadku wytrzymałości w zakresie temperatur pośrednich. Po wypaleniu, ich porowatość jest około dwukrotnie niższa a wytrzymałość około dwukrotnie wyższa, w porównaniu do betonów konwencjonalnych.

2.3 Betony ultraniskocementowe (ULCC)

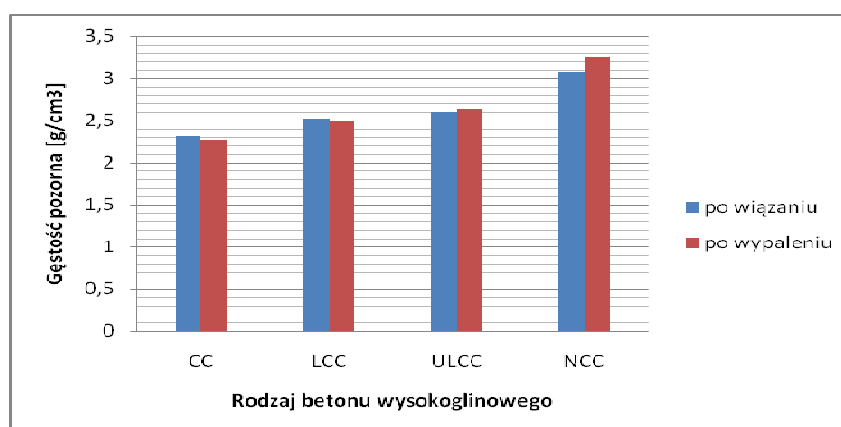
Opracowanie technologii betonów niskocementowych rozszerzyło zakres stosowania betonów ogniotrwałych, lecz główny problem ciągle pozostał nierozwiązany. Obecność wysokoreaktywnej mikrokrzemionki prowadzi do jej reakcji z cementem glinowym, której produktami są niskotopliwe fazy takie, jak: anortyt i gelenit. W betonach niskocementowych zawartość CaO waha się zwykle w granicach 0,9 – 2,5%. Ilość ta wystarcza do negatywnego wpływu na odporność termo-mechaniczną betonu. Celem poprawy wytrzymałości w wysokich temperaturach opracowano odmianę betonów ogniotrwałych o zawartości CaO 0,25-0,8%.

2.4 Betony bezcementowe (NCC)

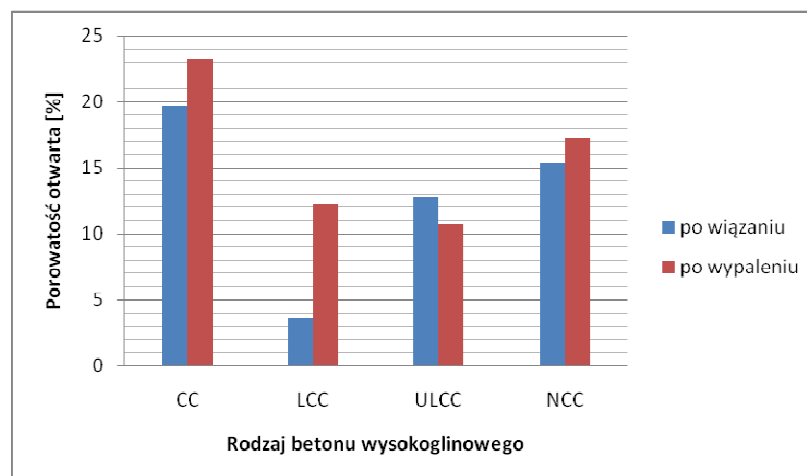
Rozwój technologii betonów nisko- i ultraniskocementowych był znacznym krokiem w kierunku poprawy właściwości betonów ogniotrwałych. Jednakże, jak już wspomniano, dodatek mikrokrzemionki do cementu wywoływał powstanie niskotopliwych faz, ograniczając zastosowanie tych materiałów w wysokich temperaturach. Opracowanie spoiw glinowych ulegających hydratacji stworzyło możliwości poprawy odporności termomechanicznej i korozyjnej betonów ogniotrwałych. Spoiwa te, to reaktywne proszki tlenku glinu charakteryzujące się bardzo małym wymiarem cząstek i dużą powierzchnią właściwą. Podobnie jak cement glinowy, reaktywne tlenki glinu posiadają właściwości wiążące. Produktami hydratacji są w tym przypadku bajeryt i bemit (żel). Dodatek mikrokrzemionki do betonów bezcementowych poprawia ich wytrzymałość po wypaleniu. Betony tego typu uzyskują pożądaną wytrzymałość już w temperaturze 1000°C, podczas gdy betony zawierające jedynie reaktywny tlenek glinu, dopiero w 1400°C [2]. Kształtowanie się własności betonów ogniotrwałych w zależności od rodzaju betonu (zawartości cementu glinowego) przedstawiono na rys. 1 – 3.



Rys 1. Wytrzymałość na ściskanie różnych rodzajów betonów wysokoglinowych. (CC – betony konwencjonalne, LCC – betony niskocementowe, ULCC – betony ultraniskocementowe, NCC – betony bezcementowe)



Rys 2. Gęstość pozorna różnych rodzajów betonów wysokoglinowych. (CC – betony konwencjonalne, LCC – betony niskocementowe, ULCC – betony ultraniskocementowe, NCC – betony bezcementowe)



Rys. 3. Porowatość otwarta różnych rodzajów betonów wysokoglinowych.
(CC – betony konwencjonalne, LCC – betony niskocementowe, ULCC – betony ultraniskocementowe, NCC – betony bezcementowe)

Generalnie można stwierdzić, że betony o zmniejszonej zawartości cementu (nisko-, ultranisko- i bezcementowe) charakteryzują się korzystniejszymi własnościami w porównaniu do betonów konwencjonalnych. Posiadają one wyższą wytrzymałość na ściskanie, większą gęstość pozorną i niższą porowatość otwartą. Świadczy to o ich zwartej teksturze, gwarantującej większą trwałość wyłożeń ogniotrwałych wykonanych z tych betonów.

2.5 Betony samolejne

Betony samolejne to kolejny, nowy kierunek w technologii betonów ogniotrwałych. Są to betony zarówno nisko- i ultraniskocementowe jak i tradycyjne, charakteryzujące się odmiennym składem ziarnowym i specjalnie dobranymi własnościami reologicznymi, pozwalające na odlewanie obmurzy bez wibrowania, przy niewiele wyższej zawartości wody w porównaniu z betonami do wibrowania. Betony te to efekt badań nad usprawnieniem metod montażu betonów w wyłozeniach ogniotrwałych [3-8]. Celem tych badań było ograniczenie stosowania uciążliwej metody wibrowania, zarówno ze względu na szkodliwość dla zdrowia (wibracje i hałas), jak i wyeliminowanie wad teksturalnych betonu, często powstających przy stosowaniu wibratorów zanurzeniowych i przedawkowywaniu ilości wody [5]. Konsystencja betonów samolejnych pozwala na ich płynięcie i samoistne odgazowanie pod wpływem sił grawitacji bez stosowania energii zewnętrznej. Osiąga się to poprzez ograniczenie kontaktów między ziarnami kruszywa, dzięki wprowadzeniu większej ilości drobnych frakcji i pyłu oraz takie dobranie składu, aby czas wiązania betonu, z jednej strony umożliwił jego odgazowanie a z drugiej strony nie dopuścił do sedymentacji ziaren kruszywa. [5, 6, 8]. Efektem stosowania betonów samolejnych jest: łatwość wykonania obmurzy, możliwość wypełniania wąskich, trudnodostępnych przestrzeni, gładkość powierzchni, doskonała przyczepność do istniejącego obmurza i większa trwałość w porównaniu z betonami wibrowanymi.

3. Przykłady stosowania betonów ogniotrwałych w odlewnictwie

Jak już wspomniano, w ICI MB – Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach opracowano wiele rodzajów betonów ogniotrwałych, które znalazły zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Przeprowadzono również badania nad otrzymywaniem betonów ogniotrwałych, które mogą być wykorzystane w odlewnictwie. Poniżej zaprezentowano dwa typy betonów ogniotrwałych do zastosowań na rynny spustowe do żeliwiaków oraz na wyłożenie ogniotrwałe kadzi odlewniczych.

3.1 Rynny spustowe do żeliwiaków

Jako materiał na wyłożenie monolityczne rynien spustowych żeliwiaków wytypowano opracowany wcześniej w Instytucie niskocementowy beton ogniotrwały o symbolu BN-SiC80 na bazie węgla krzemu. Betony z dodatkiem SiC charakteryzują się:

- wysoką odpornością na ścieranie,
- wysoką odpornością na wstrząsy cieplne,
- wysoką odpornością na korozję żużlową,
- niską porowatością,
- wysokim przewodnictwem cieplnym.

Betony te stosuje się między innymi na wyłożenia ogniotrwałe palenisk kotłów energetycznych, pieców do spalania odpadów, pieców do topienia i rafinacji metali kolorowych oraz do wykonywania różnego rodzaju tygli. Własności betonu ogniotrwałego BN-SiC80 przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Własności betonu ogniotrwałego BN-SiC80

Parametr	Jednostka	Wartość
• zawartość SiC	%	75 – 80
• wytrzymałość na ściskanie: - po suszeniu w 110°C/8 godz. - po wypaleniu w 1450°C/2 godz.	MPa	45 75
• porowatość otwarta po wypaleniu w 1450°C/2 godz.	%	18,2
• gęstość pozorna po wypaleniu w 1450°C/2 godz.	g/cm ³	2,71
• skurczliwość po wypaleniu w 1450°C/2 godz.	%	+0,9
• ogniotrwałość pod obciążeniem 0,2 MPa	°C	1520
• odporność na wstrząs cieplny (950°C-woda)	ilość zmian	powyżej 30

Z betonu BN-SiC80 wykonano rynny spustowe do żeliwiaków. Próby przemysłowe przeprowadzone z udziałem przedmiotowych rynien wykazały ich dużą trwałość, wynoszącą około 350 spustów z żeliwiaka. Wcześniej stosowane materiały (szamot + wymazka grafitowa) wytrzymywały około 60 spustów. Biorąc pod uwagę wysokie parametry użytkowe betonu BN-SiC80, ten rodzaj tworzywa ogniotrwałego należy zalecać na wykonawstwo rynien i syfonów żeliwiaków eksploatowanych w odlewniach żeliwa.

3.2 Wyłożenie ogniotrwałe kadzi odlewniczych

Do wykonania ogniotrwałego wyłożenia monolitycznego kadzi odlewniczych wytypowano niskocementowy, samolejny beton andaluzytowy w gatunku BAN-160/5. Własności tego betonu przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Własności betonu BAN-160/5

Parametr	Jednostka	Wartość
• zawartość Al ₂ O ₃ ,	%	59,40
• zawartość CaO,	%	1,24
• ogniotrwałość zwykła,	°C	powyżej
• ogniotrwałość pod obciążeniem,	°C	1770
• gęstość pozorna po wypaleniu w 1600°C/2 godz.,	g/cm ³	1660
• porowatość otwarta po wypaleniu w 1600°C/2 godz.,	%	2,46
• wytrzymałość na ściskanie:	MPa	15,1
- po wysuszeniu w 110°C/4 godz.		
- po wypaleniu w 1600°C/2 godz.		42,0
• skurczliwość po wypaleniu w 1600°C/2 godz.,	%	85,0
• odporność na wstrząsy cieplne (850°C-woda), po wypaleniu	ilość zmian	0,3
w 1600°C/2 godz.	W/mK	powyżej 30
• przewodność cieplna:		
- w temperaturze 900°C		2,2
- w temperaturze 1100°C		2,6

Wykonano wyłożenie ogniotrwałe dna i ścian kadzi odlewniczej o pojemności nominalnej 1 Mg. Kadź ta (z zamknięciem zatyczkowym), przeznaczona była do transportu i odlewania odlewów staliwnych, w tym odlewów wysokostopowych, odlewów z żeliwa szarego i sferoidalnego, a także odlewów z brązu. Temperatura pracy wyłożenia ogniotrwałego kadzi wynosiła od 1320°C (brązy) do 1700°C (staliwo wysokostopowe) a w trakcie eksploatacji, ze względu na charakter prowadzonego procesu, poddawana była

okresowym szokom termicznym. Po oddaniu do eksploatacji, przedmiotowa kadź uzyskała następujące ilości wytopów:

- 45 wytopów stali wysokostopowych w gatunkach: LH25N19S2, LH18N10, LH18N9, GX120CrMo29, przy temperaturze spustu 1620 – 1650°C;
- 52 wytopy stali węglowych w gatunkach: LH50, L500, L3SGSM, L30GS, przy temperaturze spustu 1610 – 1650°C;
- 49 wytopów żeliw niskostopowych w gatunkach: GG20, GG25, GGG40.15, GGG50.02, przy temperaturze spustu 1460 – 1510°C, z prowadzeniem procesu ich sferoidyzacji w kadzi;
- 15 wytopów brązów w gat. BK331, przy temperaturze spustów 1320 – 1340°C.

Łącznie, trwałość monolitycznego wyłożenia kadzi, wykonanego opracowanym betonem BAN-160/5, wyniosła 161 wytopów. W porównaniu do wyłożenia tradycyjnego, wykonanego z wyrobów wysokoglinowych (średnio 60 kadziospustów), uzyskano blisko trzykrotny wzrost trwałości, mimo bardzo trudnych warunków pracy, związanych z cyklicznymi przerwami w eksploatacji kadzi.

4. Podsumowanie

- Opracowane i wytypowane do prób gatunki betonów ogniotrwałych charakteryzowały się wysoką odpornością termo-mechaniczną, spełniającą warunki pracy urządzeń odlewniczych, w których zostały zabudowane. Wyniki prób przemysłowych pozwoliły pozytywnie ocenić pracę, zarówno monolitycznego obmurza kadzi, jak i monolitycznego wyłożenia rynien żeliwiakowych. Uzyskano zdecydowany wzrost trwałości wyłożenia ogniotrwałego, przypadku kadzi blisko 3-krotny, w przypadku rynien spustowych żeliwiaka blisko 6-krotny.
- Zwiększenie trwałości wyłożyń ogniotrwałych w/w kadzi i rynien spustowych posiada wymiar zarówno ekonomiczny (obniżenie kosztu remontów, zmniejszenie ilości przestojów produkcyjnych), jak również przyczynia się do poprawy czystości metalurgicznej i własności użytkowych gotowych odlewów, zwiększając ich atrakcyjność rynkową.
- Rozszerzenie i upowszechnienie stosowania wyłożyń monolitycznych ma również inne, bardzo istotne znaczenie. Produkcja tworzyw do ich wykonywania nie wymaga wypalania, jak ma to miejsce przy produkcji tradycyjnych wyrobów ogniotrwałych. W wymiarze globalnym przyczynia się to do obniżenia energochłonności gospodarki oraz zmniejszenia emisji CO₂ do atmosfery.

Literatura

1. Gabis V.M., "Main trends in the development of high-performance refractories for the foundry industry" XXXVIIIth International Colloquium on Refractories, 1995, str. 9-14.
2. Stewart W.: „Trends in monolithics”, Brit. Cer. Trans. J. 93, 6, 1994, str. 252 – 254.
3. Brachem F.G., Avis R., Clavaud B., Meunieur P., „Self-flowing refractory castables”, XXXIVth International Colloquium on Refractories, 1991, str. 186-188,
4. Brachem F.G., Avis R., Clavaud B., Meunieur P., “Les betons refractaires autocoulables. Applications en cimenterie”, L’Ind. Cer., 868, 2, 1992, str. 113-114.
5. Kriechbaum G.W., Gnauck V., Routschka G., “The influence of SiO₂ and spinel on the hot properties of high alumina low cement castables”, XXXVIIth International Colloquium on Refractories, 1994, str. 150-159.
6. Majumdar S.D., Narayanan S., Biswas S.K., “Development of cementless and auto-flow aluminous castable for use in the production of cleaner steel”, XXXVIIth International Colloquium on Refractories, 1994, str. 162-167.
7. Gabis V.M., “Morganite Morflo range of low and ultra-low cement castables”, W. Ceram. Refrac. 5, 6, 1994, str. 10.
8. Yuan Sen, “Self-flowing castables”, Am. Cer. Soc. Bull. 74, 9, 1995, str. 117-118.