

**MATERIAŁY POMOCNICZE DO TEMATU:****DOBÓR PARAMETRÓW ROBOCZYCH MASZYN DMUCHOWYCH DO TECHNOLOGII COLD-BOX****Józef Dańko****1. Wstęp**

W metodach zimnej rdzennicy, analogicznie jak w klasycznych metodach nadmuchiwanie i wstrzeliwanie rdzeni priorytetową czynnością technologiczną jest optymalne wypełnienie wnęki rdzennicy i prawidłowy rozkład gęstości pozornej masy. Dobór parametrów doprowadzania masy do wnęki rdzennicy na podstawie określonych warunków i parametrów prawidłowego przegazowywania rdzennicy w zasadzie nie rozwiązuje problemu, gdyż tak dobrane powierzchnie otworów doprowadzających masę oraz odpowietrzeń nie zapewniają właściwego zagęszczenia. W tym przypadku pojawia się zróżnicowanie parametrów procesu dmuchowego, związane z właściwościami technologicznymi masy oraz z warunkami jej utwardzania w rdzennicy. W porównaniu z klasycznym procesem dmuchowym (nadmuchiwanie, wstrzeliwanie), w którym masa jest utwardzana za pomocą dostarczonego ciepła (np. suszenie lub technologia hot-box), w metodach zimnej rdzennicy większa liczba otworów dmuchowych ułatwia wypełnienie skomplikowanych rdzennic, a także ułatwia utwardzenie masy. Jednocześnie należy pamiętać, że w zakresie tej samej wartości stopnia odpowietrzenia rdzennicy można uzyskać znaczne zróżnicowanie wypełniania rdzennicy, w zależności od kształtu jej wnęki, zastosowanego stopnia odpowietrzenia rdzennicy i wartości parametrów procesu dmuchowego.

Celem publikacji jest przedstawienie zasad doboru parametrów roboczych maszyn dmuchowych pod kątem prawidłowego przebiegu procesu wypełniania rdzennicy i zagęszczania masy oraz warunków prawidłowego przebiegu utwardzania masy w rdzennicy utwardzaczami dozowanymi w postaci gazowej.

**2. Typowe technologie zimnej rdzennicy z systemami gazowego utwardzania masy**

Na rysunku 1 zestawiono typowe metody wytwarzania rdzeni utwardzanych przez przedmuchiwanie masy w rdzennicy, których czynnikami utwardzającymi w postaci gazowej są związki aminy (DMEA, DMIA, TEA), dwutlenek siarki -  $\text{SO}_2$ , utwardzacz estrowy (mrówczan metylu) oraz dwutlenek węgla  $\text{CO}_2$ . Ze względu na przebieg procesu utwardzania najbardziej korzystne jest równoczesne dostarczenie gazowego czynnika utwardzającego do wszystkich przestrzeni porowatych w rdzeniu. Charakterystyczny dla procesu dmuchowego rozkład zagęszczenia masy, w którym największe wartości gęstości pozornej występują na przedłużeniu osi otworu dmuchowego (strzałowego), zmniejsza w tym rejonie przepuszczalność i filtrację gazu utwardzającego, co może być przyczyną niewłaściwego utwardzenia rdzeni.

W zależności od rodzaju zastosowanej żywicy można podać następujące wytyczne do projektowania systemów gazowego utwardzania masy [2-3, 6, 9-10].

**2.1. System z żywicą fenolową (fenolowy proces Ashland) utwardzaną aminami w postaci gazowej**

W omawianej odmianie procesu dwuskładnikowe spoiwo (żywica fenolowa + poliiizocyjanian) jest najczęściej utwardzana trójetyloaminą (TEA) lub dwumetyloetyloaminą (DMEA) doprowadzonymi do masy rdzeniowej w postaci gazowej. Amina podana do masy w postaci związku DMEA jest bardziej reaktywna niż amina TEA.

Korzystna wartość ciśnienia przegazowywania wynosi 0,1 - 0,2 MPa ponad ciśnienie otoczenia [2-3, 6]. Wprowadzenie aminy do przestrzeni międzyziarnowych stwarza silnie zasadowe środowisko, w którym zetknięcie składnika fenolowego żywicy ze składnikiem poliizocyjanowym prowadzi w bardzo krótkim czasie (rzędu milisekund) do polimeryzacji obu składników. Efektem reakcji jest powstanie żywicy uretanowej i utwardzenie rdzenia. Nie zużyta amina z danej, elementarnej porcji masy rdzeniowej, pod koniec reakcji utwardzania tej elementarnej porcji może przemieszczać się do kolejnych elementarnych porcji i katalizować przebieg tej reakcji. Po całkowitym utwardzeniu rdzenia amina jest wypłukiwana z porowatych przestrzeni rdzenia przez powierze oczyszczające, za pomocą którego jest następnie przenoszona do neutralizatora płuczkowego, wypełnionego kwasem siarkowym.

### *2.2. System z żywicą epoksydowo-akrylową, utwardzaną SO<sub>2</sub>*

Proces zimnej rdzennicy, w którym stosuje się jako spoiwo żywicę akrylowo-epoksydową polega na połączeniu w masie rdzeniowej efektu pochodzącego od składnika akrylowego i epoksydowego. Czynnikiem utwardzającym to spoiwo jest dwutlenek siarki SO<sub>2</sub>, dostarczany w postaci gazowej. Czas utwardzania, liczony od chwili, gdy dwutlenek siarki styka się z mieszaniną piasku i żywicy, jest również bardzo krótki (rzędu milisekund). Istotna różnica, w stosunku do procesu fenolowego, wpływająca na rozwiązanie systemu odpowietrzenia rdzennicy polega na tym, że spoiwo (żywica epoksydowo-akrylowa) jest utwardzane przez chemiczne połączenie z SO<sub>3</sub>. Reakcja utwardzania zachodzi prawidłowo wówczas, gdy nadciśnienie SO<sub>2</sub> w rdzennicy osiąga wartość 0,1034 MPa. Powietrze zawarte w porach rdzenia jest usunięte przez SO<sub>2</sub>, na początku procesu utwardzania.

### *2.3. System z zasadową żywicą fenolową utwardzaną za pomocą estrów (proces mrówczany MF)*

W technologii MF stosuje się silnie zasadową żywicę fenolową rozpuszczoną w wodzie oraz jako utwardzacz lotny ester (mrówczan metylu), który jest traktowany jako współreagent reakcji chemicznej utwardzania. Omawiana technologia również wymaga użycia urządzenia dostarczającego utwardzacz w postaci gazowej. Zmiana postaci fazowej utwardzacza odbywa się w parowniku generatora gazu, skąd gaz jest przetłaczany przewodem do rdzennicy wypełnionej masą. Normalna, zalecana wartość nadciśnienia w rdzennicy wynosi dla przegazowywania 0,117 - 0,138 MPa, a dla przedmuchiwania powietrzem oczyszczającym 0,208 - 0,314 MPa [2-3, 6].

### *2.4. Proces fenolowy CO<sub>2</sub> (proces Resol/CO<sub>2</sub>)*

Proces fenolowy CO<sub>2</sub> polega na stosowaniu rozpuszczalnej w wodzie alkalicznej żywicy fenolowej, która nie zawiera azotu, siarki ani fosforu. Zawartość w żywicy wolnego fenolu nie przekracza 1%, a wolnego formaldehydu 0,1%. Proces fenolowy CO<sub>2</sub> może być stosowany do wykonywania rdzeni metodami dmuchowymi, jako alternatywa procesu mrówczanego lub szkła wodnego utwardzanego CO<sub>2</sub>, przy czym uzyskiwane właściwości technologiczne masy pozwalają na jego umiejscowienie pomiędzy procesami szkło wodne - CO<sub>2</sub> i fenolowym procesem Ashlanda [4].

### *2.5. Metoda Redset*

Metoda Redset pozwala uzyskać masy rdzeniowe o wytrzymałości porównywalnej i większej od masy z żywicą fenolową do procesu Ashland, przy nieco tylko mniejszej płynności (98%), a więc bardzo bardzo korzystne do zagęszczania metodami dmuchowymi.

W składzie masy znajduje się żywica polifenolowa (resol fenolowy), kwas i acetal, jako gazowy czynnik utwardzający. Zalety metody, następstwem których jest stosunkowo szerokie stosowanie tej metody (trzęcie miejsce dzielone wspólnie z metodą SO<sub>2</sub>), wynikają z małej ilości braków, dużej żywotności masy oraz możliwości uniknięcia neutralizacji acetalu i tym samym kosztów wprowadzenia metody [9].

### 3. Parametry robocze maszyn dmuchowych

#### 3.1. Dysze dmuchowe i otwory doprowadzające masę rdzeniową do rdzennicy

W praktyce stosuje się otwory dmuchowe o średnicach wewnętrznych od 16 do 38 mm. Obliczenie powierzchni otworów dmuchowych, a jednocześnie powierzchni kolektora doprowadzającego czynnik przegazowujący do rdzennicy przebiega następująco:

a) obliczenie sumarycznej powierzchni  $\sum f_1$ , a w przypadku pojedynczego otworu dmuchowego jego średnicy ( $d_1$ ) [1-3, 6]

$$\sum f_1 = \frac{m_{rdz}}{q \cdot \tau_{zap}} = \frac{V_{rdz} \cdot \rho_{st}}{q \cdot \tau_{zap}} \quad (1)$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{rdz} \cdot \rho_{st}}{\pi \cdot q \cdot \tau_{zap}}}$$

Występującą we wzorze (1) wielkość współczynnika jednostkowego wypływu  $q$  [kg/cm<sup>2</sup>s] oblicza się ze wzoru

$$q = \frac{m_{rdz}}{\sum f_1 \cdot \tau_{zap}}; \quad (2)$$

gdzie:  $m_{rdz}$  - masa rdzenia [kg],  $\tau_{zap}$  - czas zapełniania rdzennicy masą [s],  $\sum f_1$  - sumaryczna powierzchnia otworów doprowadzających masę do rdzennicy [cm<sup>2</sup>],  $V_{rdz}$  - objętość rdzenia [cm<sup>3</sup>],  $\rho_{st}$  - gęstość masy rdzeniowej w próbce walcowej przy trzykrotnym ubiciu standardowym ubijakiem [g/cm<sup>3</sup>],  $\tau_{zap}$  - czas zapełniania rdzennicy [s].

W zależności od wielkości i stopnia skomplikowania można dla przykładu podać następujące grupy wielkości  $q$ , do obliczania parametrów głowicy dmuchowej dla rdzeni wykonywanych z masy zawierającej dwuskładnikową żywicę fenolową utwardzaną związkami aminy, podawanymi w postaci gazowej [2-3, 6, 10]:

Rdzenie masywne proste:  $q = 2,0$  kg/cm<sup>2</sup>s. Rdzenie masywne, mające przewężenia i zasilane przez kilka otworów dmuchowych:  $q = 1,0$  kg/cm<sup>2</sup>s. Rdzenie o średniej masywności, którym stawia się wymagania dokładnego odwzorowania powierzchni:  $q = 0,5$  kg/cm<sup>2</sup>s. Rdzenie skomplikowane, cienkościennie:  $q = 0,2$  kg/cm<sup>2</sup> s. W przypadku rdzeni bardzo skomplikowanych cienkościennych, odtwarzających na przykład systemy chłodzenia wodnego w silnikach spalinowych:  $q = 0,143$  kg/cm<sup>2</sup>s.

b) określenie liczby pojedynczych dysz dmuchowych (strzałowych), a jednocześnie liczby punktów, przez które będzie doprowadzany do rdzennicy gazowy czynnik utwardzający:

$$n_{\phi} = \frac{\sum f_1}{f_{1opt}} \quad (3)$$

gdzie:  $\sum f_1$  - wartość obliczona ze wzoru (1),  $f_{1opt}$  - optymalna dla danej masy rdzeniowej powierzchnia pojedynczego otworu dmuchowego.

#### 3.2. Pneumatyczne parametry przedmuchiwania masy w rdzennicy

Dobór warunków przedmuchiwania masy w rdzennicy wyposażonej w odpowietrzenia, pozwalające na prawidłowe zapełnienie rdzennicy masą sprowadza się do określenia

powierzchni przewodu rurowego doprowadzającego czynnik gazowy, a także ciśnienia w kolektorze wlotowym do rdzennicy. Od wymienionych wielkości zależy z kolei ciśnienie gazowego utwardzacza wewnątrz rdzennicy, które dla danej technologii zimnej rdzennicy jest ustalane doświadczalnie [5, 7] oraz zmiana jego koncentracji w czasie przedmuchiwania zagęszczonej masy.

W celu określenia pneumatycznych parametrów przedmuchiwania rdzenia rozważa się elementarny, chwilowy przyrost masy gazu we wnęce roboczej, opisany wzorem

$$dM_c = \left( \mu_1 \psi_1 \sum f_1 \sqrt{\frac{p_b}{v_b}} - \mu_2 \psi_2 \sum f_2 \sqrt{\frac{p_c}{v_c}} \right) d\tau \quad (4)$$

gdzie:  $\mu_1, \mu_2$  – współczynniki wydatku odpowiednio kanałów doprowadzających gaz utwardzający do wnęki roboczej oraz kanałów, przez które gaz uchodzi do systemu odciągowego. W obliczeniach przybliżonych wielkości te przyjmuje się jako stałe:  $\mu_1 = 0,8$ ;  $\mu_2 = 0,6$  [1],  $\sum f_1, \sum f_2$  – sumaryczna powierzchnia kanałów doprowadzających gaz utwardzający do wnęki roboczej oraz istniejących w rdzennicy odpowietrzeń, przez które gaz uchodzi do systemu odciągowego,  $p_b, p_c, v_b, v_c$  – ciśnienie i objętość właściwa czynników gazowych odpowiednio: w kolektorze wlotowym nad kanałami doprowadzającymi do wnęki roboczej (indeks „b”) oraz we wnęce roboczej (indeks „c”),  $d\tau$  – elementarny odcinek czasu,  $\psi_1, \psi_2$  – liczby przepływu wyrażone za pomocą wzoru

$$\psi_1 = \sqrt{\frac{2g\kappa}{\kappa-1} \left( \frac{p_c}{p_b} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left( \frac{p_c}{p_b} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}}, \quad \psi_2 = \sqrt{\frac{2g\kappa}{\kappa-1} \left( \frac{p_d}{p_c} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left( \frac{p_d}{p_c} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}} \quad (5)$$

gdzie:  $g$  - przyspieszenie ziemskie,  $\kappa$  - wykładnik przemiany adiabatycznej dla danego gazu.

Stwierdzono eksperymentalnie, że ciśnienie ustalające się w rdzennicy jest zależne od masowego wydatku czynnika gazowego doprowadzanego przez otwory dmuchowe oraz od masowego wydatku tego czynnika uchodzącego przez odpowietrzenia do systemu wentylacji lub do otoczenia. Znając dla danej technologii na przykład wartość zalecanego ciśnienia przegazowywania ( $p_{cgaz}$ ), a także zalecaną wartość stopnia odpowietrzenia ( $S_{odp}$ ), można dla warunków ustalonego przepływu gazu w kolektorze wlotowym nad kanałami doprowadzającymi do wnęki rdzennicy obliczyć niezbędne jego ciśnienie ( $p_{bgaz}$ ), dostarczane przez generator.

Wzór dostosowany do kilku omówionych wcześniej technologii ma postać

$$p_{bgaz} = \frac{p_{cgaz}}{\left( \frac{A}{S_{odp}} \right)^{\frac{\kappa+1}{2\kappa}}}, \quad A = \frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot \frac{\psi_1}{\psi_2} \cong 0,38 - 0,60; \quad \begin{array}{l} A_{Ashland} = 0,60 \\ A_{procesSO_2} = 0,54 \\ A_{methylformiat} = 0,38 \end{array} \quad (6)$$

Wartości współczynnika  $A$  zostały określone na podstawie obliczeń symulacyjnych wartości ciśnienia granicznego w rdzennicy [2-3], przy znanych pozostałych parametrach procesu przegazowywania. W najczęściej stosowanych metodach zimnej rdzennicy, zalecane wartości takich wielkości jak: stopnia odpowietrzenia  $S_{odp}$ , średniego ciśnienia przegazowywania masy w rdzennicy  $p_{bgaz}$  oraz wartości ciśnienia  $p_{cgaz}$ , obliczonego na ich podstawie wynoszą odpowiednio:

$$S_{odp} = \frac{\sum f_2}{\sum f_1} = \frac{0,72 - \text{proces Ashland}}{0,40 - \text{proces MF}} = 0,60 - \text{proces } SO_2$$

$$p_{cgaz} = 0,21 \text{ MPa}; p_{bgaz} = 1,20 \cdot (0,21) = 0,25 \text{ MPa}$$

$$1,37 \cdot (0,25) = 0,34 \text{ MPa}$$

$$1,10 \cdot (0,23) = 0,25 \text{ MPa}$$

(7)

### 3.3. Otwory odpowietrzające dla technologii zimnej rdzennicy

Przy doborze rozmieszczenia i powierzchni przelotu otworów odpowietrzalników w rdzennicy należy uwzględnić:

- równomierne rozłożenie strumieni czynnika utwardzającego w masie rdzeniowej w celu zmniejszenia jego zużycia,
- dostateczne objętości czynnika gazowego i powietrza oczyszczającego, które należy dostarczyć do masy w najkrótszym czasie, podyktowanym przez szybkość reakcji utwardzania.

W rdzennicach do technologii zimnej rdzennicy są stosowane następujące rodzaje odpowietrzalników:

- a) siatka wykonana z drutu, zazwyczaj stosowana w sitach do przesiewania o rozmiarach oczka około 0,589 mm ( 30 mesh). W niektórych przypadkach siatka powinna być wykonana z drutu brązowego lub stalowego, w celu zapewnienia odpowiedniej gładkości powierzchni odlewu w rejonach nie podlegających obróbce mechanicznej. lub na obrysie rdzennicy,
- b) odpowietrzalniki wykonane z perforowanej taśmy,
- c) odpowietrzalniki szczelinowe wykonane z nylonu,
- d) samooczyszczające się odpowietrzalniki, z drgającą płaską blaszką lub wykonaną w postaci choinki,
- e) głowiczki odpowietrzające ze stali nierdzewnej wycinane laserem.

### 3.4. Średnice przewodów rurowych czynnika utwardzającego

Zgromadzone do tej pory dane empiryczne, dotyczące przekrojów przewodów instalacji do utwardzania rdzeni czynnikami gazowymi można następująco scharakteryzować dla poszczególnych odmian zimnej rdzennicy:

- *Rdzenie z żywicą fenolową utwardzane za pomocą przedmuchiwanie związkami aminy*  
Rdzenie o masie ok. 0,5 do 6,8 kilograma wymagają doprowadzania aminy przewodem o średnicy równej 25,4 mm (1 cal). Rdzenie o masie od 6,8 do 23 kg - przewodem o średnicy ok. 32mm (1,25 cala), a dla rdzeni od 23 do ok. 45,5 kg zalecana średnica wynosi 38 mm (1,5 cala).
- *Rdzenie z żywicą akrylowo-epoksydową utwardzane za pomocą przedmuchiwanie (SO<sub>2</sub>)*  
Zalecana średnica przewodu dostarczającego SO<sub>2</sub> do utwardzania rdzeni o masie od. 0,5 do 45,5 kg wynosi 51 mm (2 cale). Rdzenie mieszczące się w przedziale masy od. 45,5 do 91 kg utwardza się SO<sub>2</sub> podawanym przewodem o średnicy 70 mm (2,75 cala), a ponad 91 kg o średnicy równej ok. 90 mm (3,5 cala).
- *Rdzenie z zasadową żywicą fenolową utwardzane mrówczanem metylu (proces pepset)*  
W przedziale od. 0,5 do 11,3 kg średnica przewodu gazowego wynosi od 9,5 do 19 mm (0,375 - 0,75 cala). Dla rdzeni od. 11,3 do 45,5 kg średnica przewodu wynosi od 32 do 38 mm (1,25 do 1,5 cala). Rdzenie o masie ponad 45,5 kg wymagają przewodu gazowego o średnicy od 38 do 51 mm (1,5 do 2 cali).

## 4. Podsumowanie

Procesy zapelniania rdzennicy, a następnie utwardzania zagęszczonej masy za pomocą przedmuchiwania czynnikiem utwardzającym najkorzystniej było by rozpatrywać odrębnie. Jednak można pogodzić wymagania wymienionych operacji technologicznych i dokonać prawidłowego doboru wspólnych parametrów procesu, przy założeniu że czynności prawidłowego zapelnienia rdzennicy i zagęszczenia masy mają większą rangę niż czynności utwardzania za pomocą przegazowywania. Obliczone przy takim założeniu przekroje instalacji pneumatycznej i gazowej są większe od wartości obliczonych tylko przy założeniu dobrego utwardzania rdzeni czynnikiem gazowym. Większa powierzchnia otworów doprowadzających masę do rdzennicy, a jednocześnie służących do przedmuchiwania rdzenia gazowym czynnikiem utwardzającym, nie jest w tym przypadku niekorzystna, gdyż ilość gazowego utwardzacza dostarczanego do rdzennicy można skutecznie regulować przekrojami przewodów doprowadzających gaz, a także powierzchnią przekroju kolektora wlotowego do rdzennicy.

### Literatura

1. Dańko J.: Parametry procesu dmuchowego i oprzyrządowania w nowoczesnych systemach zimnej rdzennicy. Przegląd Odlewnictwa nr 2, 1995, s. 57 - 59.
2. Dańko J., Karwacki J.: The parameters of blowing and hardening process during manufacture of cores by main cold-box technologies. 3rd. International Conference „Economics and Ecology of Foundry Production '96” Nitra (Słowacja), V. 1996, s. 10 -15.
3. Dańko J., Karwacki J.: Dobór parametrów utwardzania rdzeni w nowoczesnych technologiach zimnej rdzennicy. Materiały ogólnopolskiej konferencji technicznej pt: „Eksploracja i unowocześnianie wyposażenia odlewni”, Odlewnia „CENTROZAP” Sp. z o.o., Kutno, 6 - 7 grudzień 1996, s. 41 - 48.
4. Dańko J.: Procesy dmuchowe w nowoczesnych technologiach wykonywania rdzeni - problemy ekologiczne. III Seminarium Naukowo-Szkoleniowe „Ochrona środowiska w odlewnictwie”, Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków 3 - 4 . 09. 1998, s. 15 - 23.
5. Ellinghaus W., Löhte K.: Wytwarzanie rdzeni z zastosowaniem fenolowego procesu CO<sub>2</sub> (proces Resol/CO<sub>2</sub>), Przegląd Odlewnictwa nr 11, 1996, s. 317 - 319.
6. Horton K. B., Wade T., C: Cold box design. International GIFA Congress '94, s. 324 - 332.
7. Lewandowski J. L.: Masy formierskie i rdzeniowe. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991.
8. Popov A.: Nowoczesne wytwarzanie rdzeni na strzelarkach firmy Laempe. Przegląd Odlewnictwa nr 5, 1993, s.155 -157.
9. Popov A.: Wytwarzanie rdzeni metodą cold-box - doświadczenia firmy Laempe. Przegląd Odlewnictwa nr 2, 1994, s. 58 - 61.
10. Torbus M., Laufer H. J.: Proces cold-box - nowa, ekonomiczna metoda dla polskiego przemysłu odlewniczego. Przegląd Odlewnictwa 1992, nr 6, s. 208 - 212.