

# Symulacja spiętrzania stopu w komorze zimnokomorowej maszyny ciśnieniowej

T. Wiktor<sup>a\*</sup>, A. Burbelko<sup>b\*\*</sup>

<sup>a,b</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,  
Wydział Odlewnictwa,

ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków, Polska

\*twiktor@agh.edu.pl \*\*abur@agh.edu.pl

Otrzymano 20.11.2015; zaakceptowano do druku 29.12.2015

## Streszczenie

Technologia odlewania do form metalowych z wykorzystaniem wysokiego ciśnienia jest jednym ze sposobów wytwarzania odlewów precyzyjnych. Forma metalowa zapewnia precyzję odwzorowania wymiarów gotowego wyrobu, lecz z powodu szczelności materiału, z którego jest wykonana, utrudnia odprowadzanie powietrza z wnęki. Dodatkowo powstawaniu okluzji powietrza sprzyja wysoka prędkość strugi i związany z tym skomplikowany charakter ruchu ciekłego metalu wewnątrz formy. W największym stopniu problem okluzji powietrza występuje w maszynach zimnokomorowych z poziomą komorą wtrysku. W maszynach tego typu dodatkowym źródłem gazów w odlewie może być niewłaściwy przebieg pierwszej fazy pracy maszyny ciśnieniowej. W pracy za pomocą symulacji komputerowych z wykorzystaniem oprogramowania ProCAST (ESI Group<sup>®</sup>) przeanalizowano zmiany kształtu swobodnej powierzchni stopu EN-AC 44300 AlSi12(Fe) podczas jego spiętrzania w komorze prasowania. Przeanalizowano wpływ prędkości ruchu tłoku, długości komory i stopnia jej wypełnienia na poprawny przebieg tego procesu.

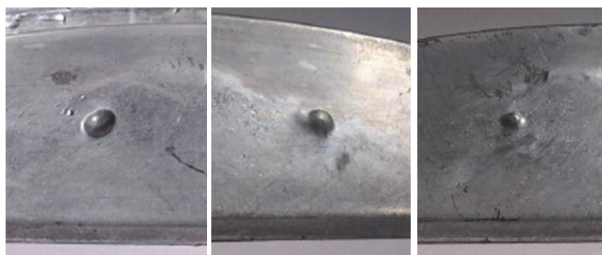
**Słowa kluczowe:** komputerowe wspomaganie produkcji odlewniczej, ProCAST, HPDC, jakość odlewów, okluzja powietrza

## 1. Wprowadzenie

Zastosowanie form metalowych jest jednym ze sposobów wytwarzania odlewów precyzyjnych. Formy metalowe zapewniają wysoką precyzję odwzorowania geometrii, ale ich szczelność utrudnia ewakuację powietrza z wnęki, zwiększając ryzyko okluzji powietrza w odlewie. Szczególnie na takie ryzyko narażone są odlewy wykonane na maszynach wysokociśnieniowych (HPDC - od ang. High Pressure Die Casting). Wysoka prędkość strugi metalu podczas wypełnienia formy (rzędu kilkudziesięciu metrów na sekundę), mały czas krzepnięcia oraz możliwość odprowadzania gazów wyłącznie przez podział formy przyczyniają się do tego, że po zakończeniu wtryskiwania metalu do wnęki formy ciśnieniowej ciekły stop odlewniczy zawiera dużą ilość okludowanego gazu. Pęcherzyki gazowe, które podczas wypełnienia

formy nie zostaną ewakuowane, pozostają w odlewach po zakrzepnięciu. W wyniku tego nie tylko obniżają się właściwości mechaniczne gotowych wyrobów, ograniczona zostaje również możliwość dalszej obróbki cieplnej lub nawet nanoszenia warstw ochronnych lub dekoracyjnych utwardzanych termicznie. Przy dużej zawartości gazów wzrost ciśnienia okludowanego gazu może doprowadzić do odkształcenia powierzchni, co uniemożliwia praktyczne wykorzystanie odlewów. Wady tego typu mogą pojawiać się nawet w przypadku zbyt wysokiej temperatury odlewu w momencie jego ekstrakcji z formy (rys. 1).

W maszynach zimnokomorowych jednym z powodów przedostawania się powietrza do wnęki formy jest niewłaściwy przebieg fazy pierwszej cyklu roboczego maszyny, a mianowicie – spiętrzania stopu po jego zalaniu do komory ciśnieniowej do momentu całkowitego wypełnienia wlewu głównego formy i rozpoczęcia fazy drugiego cyklu roboczego.



Rys. 1. Bąble na powierzchni cienkościennego odlewu z stopu Zn-Al powstające w przypadku przedwczesnego otwarcia formy i wybicia odlewu

Istnienie krytycznej prędkości ruchu tłoka po przekroczeniu, której dochodzi do zawinięcia fali czołowej i okluzji powietrza, opisano w pracy Garbera [1]. Model Garbera został uzupełniony przez Stojka [2, 3], który uwzględnił dodatkowo wpływ lepkości kinematycznej cieczy oraz stopnia początkowego wypełnienia komory (50 % i 60%) na wartość prędkości krytycznej.

Ze względu na złożony charakter analizowanych zjawisk w wymienionych wyżej rozwiązaniach analitycznych stosowane są liczne uproszczenia. Bardziej szczegółowa analiza opisywanego problemu jest możliwa za pomocą metod numerycznych, które bazują się na narzędziach komputerowej mechaniki płynów [4-6].

W niniejszej pracy przeanalizowano możliwość wykorzystania oprogramowania komercyjnego ProCAST (ESI-Group®) do celów prognozowania zmiany kształtu swobodnej powierzchni ciekłego stopu w komorze prasowania zimnokomorowej maszyny ciśnieniowej dla różnych warunków pracy w fazie pierwszej cyklu maszyny ciśnieniowej.

## 2. Opis badań

W oprogramowaniu ProCAST obliczenia w zakresie komputerowej mechaniki płynów realizowane są za pomocą numerycznego rozwiązywania równań różniczkowych Naviera-Stokes'a. Rozwiązanie wykonuje się metodą elementów skończonych (MES) na siatce liniowych elementów czworosiecznych – tetraedrów.

Wykonane w ramach niniejszej pracy symulacje miały na celu określenie wpływu geometrii komory prasowania i stopnia jej wypełnienia na niebezpieczeństwo okludowania powietrza podczas pierwszej fazy cyklu pracy maszyny dla różnych wartości prędkości jednostajnego ruchu tłoka. W tym celu w eksperymentach wirtualnych zostały zarejestrowane zmiany pola prędkości ruchu ciekłego stopu oraz przeanalizowano zmiany kształtu jego powierzchni swobodnej w komorze prasowania i przylegającym do niej fragmencie układu wlewowego.

W celu wykonania analizy przygotowano w programie SolidWorks dwa modele poziomej komory prasowania o średnicy  $D = 50$  mm różniące się długością komory  $L$  (odpowiednio 350 i 500 mm). Siatkę komory ciśnieniowej dla obliczeń numerycznych przygotowano z krokiem 2,5 mm. Dla odwzorowania wnętrza komory prasowania i przylegającego do niej elementu układu wlewowego zastosowano siatkę MES, która dla komory o długości 350 mm składała się z 24726 węzłów (239099

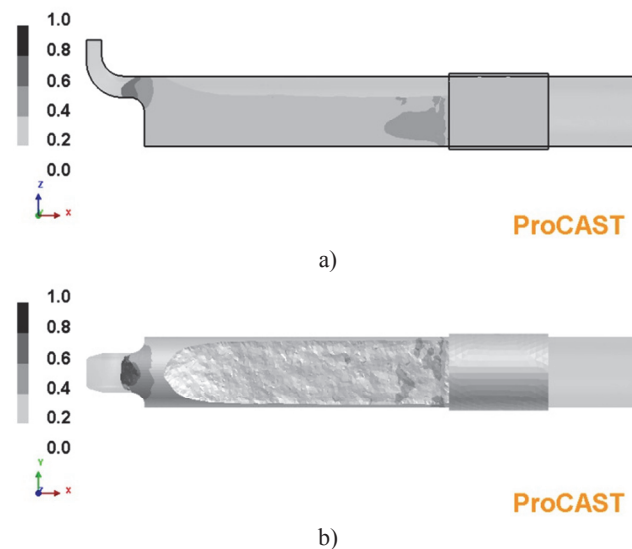
elementów), a dla komory o długości 500 mm – z 34424 węzłów (345226 elementów).

Obliczenia przeprowadzono dla stopu aluminium EN-AC 44300 AlSi12(Fe) o temperaturze 650 °C. W tej temperaturze gęstość stopu wynosi 2500 kg/m<sup>3</sup>, a lepkość dynamiczna 1,42 cP.

Przyjęto różne stopnie wypełnienia komory  $S$  (30%, 50% i 70%) oraz różne wartości prędkości tłoka  $V$  podczas pierwszej fazy (0,2 m/s, 0,4 m/s oraz 0,6 m/s). Założono, że w początkowym momencie obliczeń tłok natychmiastowo rozpoczyna swój ruch z zadaną prędkością. Ze względu na krótki czas tej fazy pominięto proces wymiany ciepła w układzie.

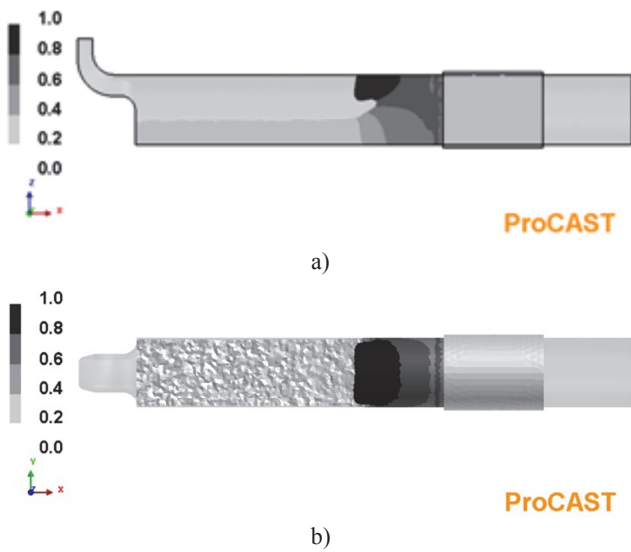
## 3. Uzyskane wyniki

Okluzja powietrza od strony tłoka może uformować się w przypadku, gdy prędkość tłoka prasującego jest zbyt mała. Sytuacja taka pokazana jest na rys. 2. Powstająca fala, która jest niższa niż wysokość komory prasowania, przemieszcza się w kierunku układu wlewowego z prędkością większą niż tłok. Natrafiając na przeciwną ścianę, fala odbija się i podnosi się, zamykając układ wlewowy.



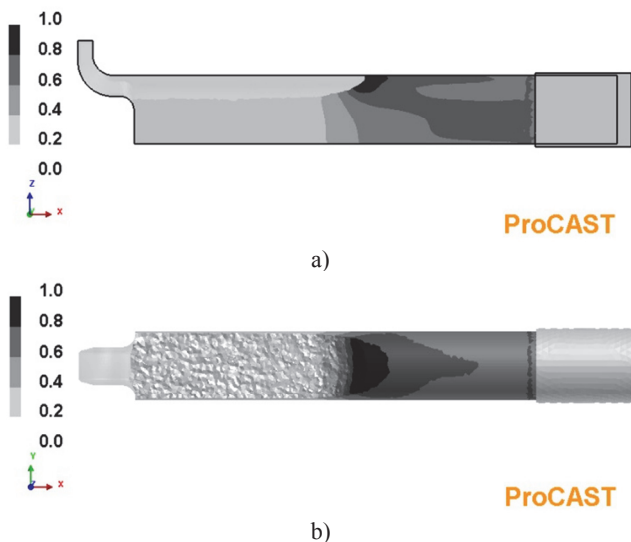
Rys. 2. Profil prędkości ruchu ciekłego metalu (m/s) w momencie wejścia czoła strugi do wlewu głównego ( $V=0,2$  m/s,  $S=50\%$ ,  $L=350$  mm, czas 0,6822 s): a) pionowy przekrój przez oś komory; b) widok z góry na powierzchnię swobodną

W przypadku, gdy prędkość tłoka jest zbyt duża, dochodzi do szybkiego podniesienia fali czołowej i załamania się jej części górnej. Powoduje to okluzję powietrza wewnątrz ciekłego stopu tak, jak jest to pokazane na rys. 3.



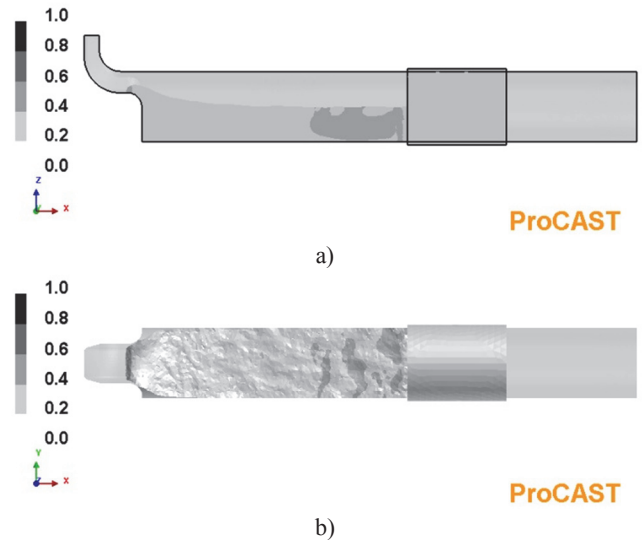
Rys. 3. Profil prędkości ruchu ciekłego metalu (m/s) w momencie przed utworzeniem okluzji powietrza pod falą czołową ( $V=0,6$  m/s,  $S=30\%$ ,  $L=350$  mm, czas 0,2332 s): a) pionowy przekrój przez oś komory; b) widok z góry na powierzchnię swobodną

Sytuacje normalną, w której ryzyko okluzji jest najmniejsze, przedstawiono rys. 4. Fala czołowa powstająca przed tłokiem wypełnia komorę prasowania na całej wysokości. Następnie fala przemieszcza się w stronę układu wlewowego. W wyniku takiego spiętrzenia powietrze w całości opuszcza komorę prasowania przed jej wypełnieniem przez ciekły metal.

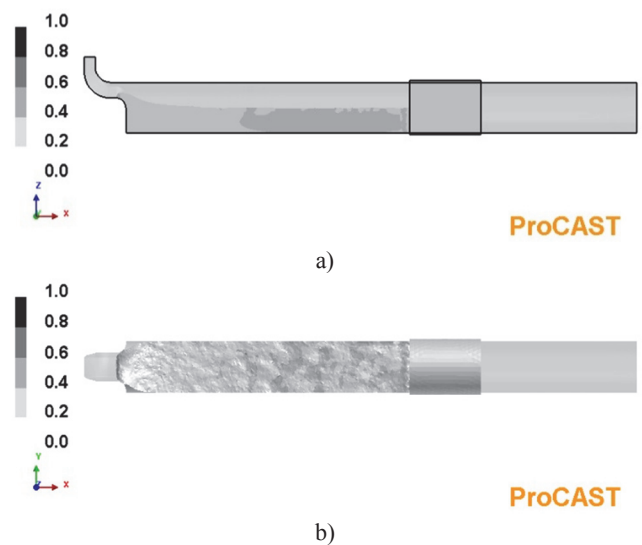


Rys. 4. Profil prędkości ruchu ciekłego metalu (m/s) w sytuacji najmniejszego ryzyka okluzji powietrza ( $V=0,6$  m/s,  $S=70\%$ ,  $L=350$  mm, czas 0,1007 s): a) pionowy przekrój przez oś komory; b) widok z góry na powierzchnię swobodną

Dla prędkości 0,2 m/s i stopnia wypełnienia 30% powstająca fala jest mniejsza od średnicy komory. Przy takich warunkach odbicie fali nie powoduje zamknięcia układu wlewowego zarówno w przypadku długości komory 350 mm (rys. 5), jak i 500 mm (rys. 6).



Rys. 5. Profil prędkości ruchu ciekłego metalu (m/s) w momencie wejścia czoła strugi do wlewu głównego ( $V=0,2$  m/s,  $S=30\%$ ,  $L=350$  mm, czas 0,8172 s): a) pionowy przekrój przez oś komory; b) widok z góry na powierzchnię swobodną



Rys. 6. Profil prędkości ruchu ciekłego metalu (m/s) w momencie wejścia czoła strugi do wlewu głównego ( $V=0,2$  m/s,  $S=30\%$ ,  $L=500$  mm, czas 1,1172 s): a) pionowy przekrój przez oś komory; b) widok z góry na powierzchnię swobodną

W tabeli 1 zestawiono wyniki symulacji wpływu analizowanych parametrów na ryzyko okluzji powietrza w poziomej komorze prasowania maszyny ciśnieniowej.

Tabela 1. Zestawienie wyników wykonanych symulacji

| Długość komory [mm] | Stopień wypełnienia [%] | Prędkość tłoka [m/s] |     |     |
|---------------------|-------------------------|----------------------|-----|-----|
|                     |                         | 0,2                  | 0,4 | 0,6 |
| 350                 | 30                      | n                    | O   | O   |
|                     | 50                      | O                    | n   | O   |
|                     | 70                      | O                    | n   | n   |
| 500                 | 30                      | n                    | O   | O   |
|                     | 50                      | O                    | n   | O   |
|                     | 70                      | O                    | n   | n   |

Uwagi: n – najmniejsze ryzyko okluzji powietrza,  
O – duże ryzyko pojawienia się okluzji powietrza

Jak widać z przedstawionych danych, zmiana długości komory w analizowanym zakresie nie zmienia wyraźnie zachowania się powierzchni swobodnej stopu w komorze spiętrzania i nie ma zauważalnego wpływu na niebezpieczeństwo okluzji powietrza.

Istotny wpływ na ryzyko powstawania okluzji powietrza podczas pierwszej fazy cyklu mają prędkość tłoka oraz stopień wypełnienia komory. Ze zwiększeniem stopnia początkowego wypełnienia komory widoczna jest tendencja wzrostu granicy dolnej i górnej zakresu prędkości tłoka, która zapewnia niskie ryzyko okluzji powietrza.

#### 4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych symulacji stwierdzono, że zwiększenie długości komory o 150 mm (z 350 do 500 mm) ma niewielki wpływ na zachowanie się fali czołowej w komorze prasowania. Istotny wpływ na ryzyko powstawania okluzji powietrza podczas pierwszej fazy cyklu mają prędkość tłoka oraz stopień wypełnienia komory. Dla analizowanej geometrii komory prasowania istnieje taki zestaw parametrów, dla których ryzyko okluzji powietrza jest niewielkie.

Oznacza to, że należy dobierać prędkość tłoka w pierwszej fazie w zależności od stopnia wypełnienia komory. Należy także unikać wypełniania komory w stopniu poniżej 50%.

#### Podziękowania

Pracę wykonano w ramach projektu nr PBS3/B5/38/2015 realizowanego w ramach programu badań stosowanych dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

#### Literatura

- [1] Garber, L.W. (1982). Theoretical analysis and experimental observation of air entrapment during cold chamber filling. *Die Casting Engineer*, May-June, pp. 14–22.
- [2] Stojek, J. (2006). Calculation of front wave critical velocity during movement of a molten alloy in the chamber of die-casting machine, *Archives of Foundry*, V. 6, No. 18, pp. 295-300.
- [3] Stojek, J. (2008). Development of revised model for describing flow phenomena in squeeze chamber of cold chamber die casting machine using analogue fluids, *Int. J. of Cast Metals*, Vol. 21, Iss. 6, pp. 445-451.
- [4] Faura, F., Lopez, J., Hernandez, J. (2001). On the optimum plunger acceleration law in the slow shot phase of pressure die casting machines, *Int. J. of Mach. Tools & Manufact.*, V. 41, Iss. 2, pp. 173-191.
- [5] Lopes, J., Faura, F., Hernandez, J., Gomez, P. (2003). On the Critical Plunger Speed and Three-Dimensional Effects in High-Pressure Die Casting Injection Chambers, *Journal of Manufacturing Science and Engineering – Transactions of the ASME*, V. 125, Iss. 3, pp. 529-537.
- [6] Han, T.-H., Kuo, J.-H., Hwang, W.S. (2007). Numerical Simulation of the Liquid-Gas Interface Shape in the Shot Sleeve of Cold Chamber Die Casting Machine, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 16, Iss. 5, pp. 521-526.

## Simulation of the Alloy Up-rise in the Shot Chamber of Cold Chamber HPDC machine

#### Abstract

High Pressure Die Casting gives the possibility to produce the cast products with a high precision. Unfortunately, physical properties of the metal molds prevent the air evacuation from the mold cavity. High velocity of the stream and of the free surface movement as well as complicated character of the liquid metal movement prevent the air evacuation and promote the occlusions in the casting. Risk of the air occlusion is the highest in the case of the cold-chamber machines with a horizontal press-chambers. In the HP die casters of this type the addition source of the gas in the casting is the improper evolution of the alloy free surface during the first stage of the cycle (alloy up-rise). In this paper the evolution of the free surface of the EN-AC 44300 AlSi12(Fe) alloy was analyzed by ProCAST software (ESI Group®) in the HP chamber during the first stage of the working cycle. The influence of the piston velocity, shot chamber length and initial level of the alloy in the shot chamber on the behavior of the alloy free surface at this stage was analyzed.