

Analiza rozwoju systemów dozowania stopów aluminium w zimnokomorowych maszynach ciśnieniowych

W. Kowalczyk^a, R. Dańko^b

^a Frech Polska Sp. z o.o., 46-320 Praszka, ul. Powstańców Śl.9, doktorant AGH

^b AGH - University of Science and Technology, Faculty of Foundry Engineering, Kraków, Poland

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

Otrzymano 20.11.2015; zaakceptowano do druku 29.12.2015

Streszczenie

W publikacji poddano analizie tradycyjne i automatyczne systemy dozowania stopów aluminium w zimnokomorowych maszynach ciśnieniowych dominujące w europejskim odlewnictwie. Omówiono ogólne cechy istniejących, automatycznych rozwiązań systemów dozowania oraz nowych rozwiązań, powiązanych z maszyną ciśnieniową. Przedstawiono także podejmowane przez producentów działania w zakresie dalszego rozwoju tych systemów.

Słowa kluczowe: odlewnictwo ciśnieniowe, maszyny, peryferia, stopy aluminium

1. Wprowadzenie

Konieczność częściowego wypełnienia komory prasowania zimnokomorowej maszyny ciśnieniowej stopem odlewniczym przed każdym cyklem roboczym określa cel, zakres i sposób realizacji czynności dozowania w aspekcie prawidłowego funkcjonowania maszyny ciśnieniowej oraz jakości uzyskiwanych odlewów. Stosuje się dwie generalne zasady rozwiązania automatycznego doprowadzenia metalu do maszyny ciśnieniowej. Pierwsza z nich polega na czerpaniu ciekłego metalu z tygla pieca podgrzewczego za pomocą łyżek oraz czerpaków i podawania go do komory prasowania. Zasada druga polega na bezpośrednim dozowaniu ciekłego metalu z pieca podgrzewczego do komory prasowania maszyny [1-8].

Do głównych cech istniejących rozwiązań systemów dozowania należą:

- powtarzalność ilościowa dozowania,
- stabilność temperaturowa dozowania,

- powtarzalność czasu cyklu dozowania,
- czas zalewania,
- czas upływający od uruchomienia cyklu pracy maszyny do pierwszego zalania komory,
- czas pełnego cyklu urządzenia.

Istnieje ponadto szereg innych cech, których występowanie składa się na całościową ocenę urządzenia realizującego proces dozowania metalu. Można tutaj dodatkowo wymienić:

- obecność i ilość tlenków oraz innych zanieczyszczeń w dozowanym stopie,
- częstotliwość, stopień komplikacji i pracochłonność czynności obsługowo/konserwacyjnych,
- trwałość (żywość) kluczowych elementów systemu,
- energochłonność ogólna - oznaczająca sumaryczne zużycie energii elektrycznej, gazu jak i sprężonego powietrza,
- stopień skomplikowania konstrukcji urządzenia,
- możliwości wpływania na realizację procesu dozowania poprzez elastyczne parametry układu sterowania.

2. Analiza rozwiązań systemów dozowania stopów aluminium w zimnokomorowych maszynach ciśnieniowych

W kolejności rozwoju historycznego i technicznego następujące po sobie generacje rozwiązań systemów dozowania stopów aluminium stosowane w zimnokomorowych maszynach ciśnieniowych można scharakteryzować jak poniżej.

2.1. Zalewanie ręczne

Zalewanie ręczne, jako historycznie najstarsze rozwiązanie dozowania stopów aluminium w zimnokomorowych maszynach ciśnieniowych jest nadal stosowane w odlewniach o niskim poziomie wyposażenia ale również dość często występuje w nowoczesnych odlewniach, przy produkcji realizowanej na „starych” maszynach bądź w przypadku odlewania bardzo krótkich serii z nietypowych stopów.

Podczas zalewania ręcznego operator maszyny nabiera specjalnie dobraną „chochłą” odpowiednią dawkę metalu, zalewa nią komorę po czym inicjuje start procesu odlewania. Ocena tego systemu dozowania, niezbyt wysoka pod względem poziomu nowoczesności, wykazuje jednak sporo zalet a niekiedy nawet elementy przewagi nad innymi metodami.

Do zalet można zaliczyć:

- niski koszt urządzeń, do uruchomienia produkcji wystarczy zakup pieca podgrzewczego,
- krótki czas dozowania metalu,
- elastyczność i łatwość dostosowania czynności dozowania do zmiennego czasu cyklu maszyny,
- możliwość stosowania dowolnego stopu odlewniczego, zarówno Al jak i Zn, Sn, Cu,
- krótki czas rozpoczęcia procesu.

Wady systemu dozowania ręcznego, to:

- konieczność pozyskania operatora maszyny o odpowiednich predyspozycjach i doświadczeniu,
- brak możliwości utrzymania ciągłego wysokiego tempa produkcji odlewów z przyczyn naturalnych operatora,
- podniesione ryzyko i zagrożenie wypadkowe,
- ograniczenia wagowe dozowanego metalu (max. 15 kg).

2.2. Systemy znane jako „Automatyczna łyżka zalewowa”

Automatyczna łyżka zalewowa jest w obecnym czasie najbardziej rozpowszechnionym rozwiązaniem systemów dozowania stopów aluminium w zimnokomorowych maszynach ciśnieniowych. Sprawdza się to rozwiązanie zarówno w produkcji wielkoseryjnej jak i przy odlewaniu krótkich serii.

Dozowanie łyżkowe (czerpakowe) może charakteryzować się następującymi elementami lub cechami konstrukcyjnymi:

- czerpakiem przesuwnym z zaworem zamykającym umieszczonym w dnie,
- czerpakiem przesuwnym i przechylnym, w którym wielkość porcji metalu uzależniona jest od kąta nachylenia czerpaka, jest to rozwiązanie dominujące,

- ruchem czerpaka pomiędzy piecem a komorą realizowanym systemem ramienia przegubowego o ograniczonej możliwości korekty trajektorii,
- ruchem czerpaka pomiędzy piecem a komorą realizowanym systemem realizowanym swobodnie programowalnych liniowych jednostek napędowych.

Praktycznie każdy producent maszyn odlewniczych ma w swojej ofercie kilka różnych modeli automatycznych łyżek zalewowych, dostosowanych do typoszeregów oferowanych maszyn ciśnieniowych. Dodatkowo, na rynku obecnych jest wielu niezależnych producentów oprzyrządowania odlewniczego, którzy również oferują tego typu urządzenia.

W specjalnych aplikacjach spotykane jest rozwiązanie polegające na zamontowaniu czerpaka na ramieniu robota przemysłowego.

Zalety automatycznych łyżek z czerpakami dozownikami zapełnianych przez całkowite zanurzenie metalu:

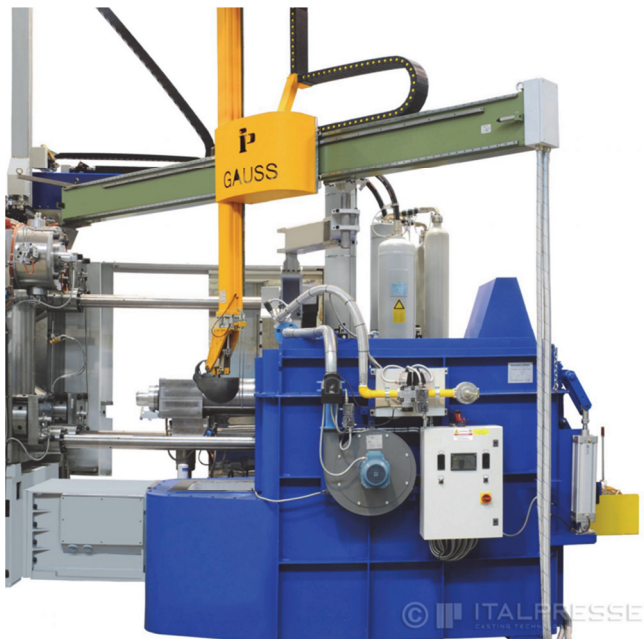
- stosunkowo niskie koszty: urządzenia i eksploatacji,
- prosta budowa,
- krótki czas zalewania komory,
- możliwość niemal idealnego zsynchronizowania z cyklem maszyny,
- łatwa implementacja,
- bardzo duży wybór urządzeń dla wszelkich możliwych typów i wielkości maszyn odlewniczych, z wielkością porcji dozowanego metalu od 0,1 do ponad 50 kg, dla stopów Al ale również Cu, Sn, Pb i Zn.

Wady rozwiązań omawianego typu:

- wraz z metalem nabierane są znajdujące się na jego powierzchni zanieczyszczenia, głównie tlenki,
- występują duże straty temperatury metalu od chwili nabrania do opróżnienia,
- powtarzalność dozy, występują odchylenia od wartości nominalnej o 3-5%, zazwyczaj ok. 4%,
- zwiększone zagrożenie dla obsługi,
- duże straty energii cieplnej,
- wydłużony czas uruchomienia pierwszego cyklu po rozpoczęciu lub wznowieniu produkcji.



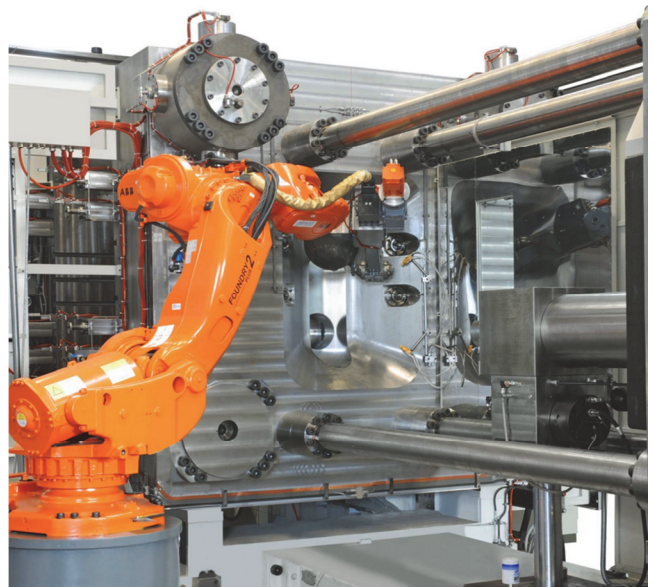
Rys. 1. Czerpaki ceramiczne z asortymentu firmy PYROTEK [9]



Rys. 2. Widok zespołu automatycznej łyżki w rozwiązaniu konstrukcji bramowej firmy ITALPRESSE [9]



Rys. 3. Widok zespołu automatycznej łyżki w rozwiązaniu konstrukcji ramieniowej firmy SPESIMA [9]



Rys. 4. Zbliżenie fragmentu ramienia robota firmy KUKA z zamontowanym zespołem automatycznej łyżki zalewowej [9]

2.3. Piece dozujące

Powstały one w wyniku poszukiwań rozwiązań będących alternatywą, a zarazem pozwalających uniknąć chociaż części wad i ograniczeń łyżek zalewowych tj.:

- małej powtarzalności dozowania,
- zabieranie tlenków i zanieczyszczeń z pieca do komory prasowania,
- konieczność znacznego przegrzewania stopu.

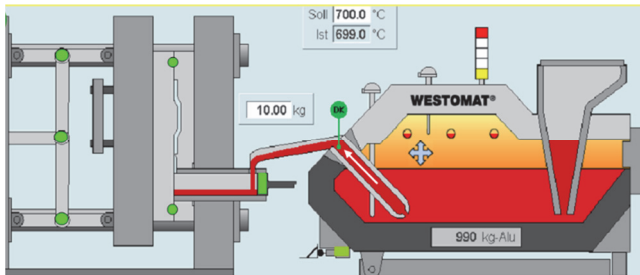
Na rynku odlewniczym rozpowszechniły się trzy podstawowe rozwiązania pieców dozujących:

- naciśnieniowe ze szczelną całą komorą pieca – STRIKO, ZPF, KROWN,
- naciśnieniowe z komorą pieca otwartą ale szczelnym układem pompowym w niej zainstalowanym. STOTEK,
- podciśnieniowe – MW/FRECH VACURAL, MELTEC AVDF.

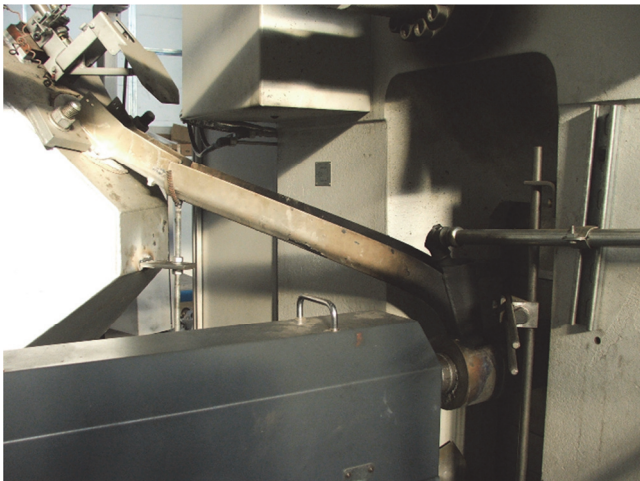
2.3.1. *Piecy dozujące naciśnieniowe ze szczelną całą komorą pieca*

Najczęściej spotykane rozwiązanie i historycznie najstarsze. Najbardziej rozpowszechnione piecy dozujące oparte na tej zasadzie dostarcza niemiecka firma StrikoWesofen, oraz powielające jej rozwiązanie produkty firm Krown (Hiszpania) oraz Foundry4-ZPF (Niemcy). Wykorzystuje się tutaj prostą zasadę zmiany poziomu cieczy w naczyniach połączonych gdy w jednym z nich zwiększymy ciśnienie powietrza nad lustrem cieczy. Istota działania jest prosta ale jej realizacja z ciekłym aluminium jako cieczą napotkała całkiem sporo problemów podczas projektowania i rozwoju tej technologii. Konieczna jest wysoka powtarzalność procesu przy zmiennym w czasie poziomie metalu w piecu. Rozwiązano to poprzez zastosowanie sond kontaktowych (zamykanie obwodu elektrycznego poprzez ciekły metal) lub układu pneumatycznego. W obu przypadkach poziom

metal jest przed każdym kolejnym cyklem „obliczany” przez oprogramowanie pieca na podstawie czasu i ciśnienia powietrza w piecu przy którym poziom sondy osiągnięto, z uwzględnieniem tego obliczana jest wielkość ciśnienia i czas jego utrzymywania aby zadana przez operatora ilość ciekłego stopu została „wyciśnięta” z pieca do rynny spustowej którą to metal spływa do komory maszyny odlewniczej. Gdy zadana ilość metalu spłynie do komory piec przerywa dozowanie rozładowując ciśnienie wewnątrz swej komory równocześnie po zadanym czasie opóźnienia zwalnia cykl maszyny odlewniczej (Maszyna oczekiwała na sygnał zezwalający jej na start procesu prasowania – start ruchu tłoka) i rozpoczyna kolejny swój cykl.



Rys. 5. Ekran wizualizacji pieca Westomat obrazujący ideę działania tego systemu [9]



Rys. 6. Widok na rynnę którą ciekły stop Al jest transportowany do komory prasowania maszyny odlewniczej [9]

Zalety:

- duża powtarzalność dozowania na poziomie $\pm 2\%$ (nawet 1.5% po zastosowaniu systemu korygowania grubości „piętki”), dane dla pieców Westomat®,
- metal czerpany jest z pod powierzchni lustra co zapobiega zabieraniu tlenków i zanieczyszczeń z powierzchni do komory odlewniczej,
- szeroki wachlarz dostępnych wielkości pieców (Striko - od 450 do 3500kg Al) jak i rur dozujących (jej prawidłowy dobór determinuje zakres precyzyjnego dozowania),
- możliwy krótki czas zalewania komory,
- małe straty energii,
- duża ilość parametrów pozwalająca swobodnie programować proces,

- po zainicjowaniu wstępnym piec jest gotów natychmiast rozpocząć dozowanie,
- zmiany długości cyklu maszyny nie mają wpływu na cykl dozowania,
- mało ruchomych części mechanicznych podlegających zużyciu,
- niższe temperatury zalewania niż w przypadku łyżki,
- łatwe wprowadzanie korekt do ilości dozowanego metalu.

Wady:

- koszt zakupu (w porównaniu z łyżką zalewową),
- stosunkowo skomplikowana budowa,
- wymaga wyższej niż w przypadku łyżki zalewowej kultury technicznej na odlewni,
- dużo większe od innych pieców dozujących zapotrzebowanie na sprężone powietrze,
- wrażliwość na wahania ciśnienia powietrza w sieci,
- stosunkowo trudne i wymagające uwagi czynności konserwacyjne,
- cały piec musi być szczelny a czasem trudno zdiagnozować nieszczelności powodujące straty powietrza,
- całe lustro metalu zamknięte jest w komorze w której okresowo ciśnienie podnoszone jest ponad atmosferyczne co może zwiększać zagazowanie metalu,
- metal z rury dozującej spływa do komory w otwartej rynnie, a im ona jest dłuższa tym większe zagazowanie metalu, powstaje więcej tlenków na powierzchni strugi oraz większy spadek jego temperatury,
- na koniec cyklu na rynnie pozostaje cienka warstwa zakrzepniętego stopu która spłukiwana jest z następnym cyklem, nie jest to jednak 100% jakości stop, zawiera nieco tlenków które trafiają do komory prasowania maszyny i częściowo do odlewu,
- utrudniona wymiana części eksploatacyjnych,
- dostępne tylko piece dozujące, nie ma możliwości topienia w nich metalu,
- zamrożenie zalanego metalem pieca powoduje uszkodzenie rury dozującej, leja zalewowego i osłony termopary.

2.3.2. Piece dozujące nadciśnieniowe z wydzieloną komorą ciśnieniową

Rozwiązanie takie oferuje firma Stotek, sama istota działania jest podobna jak w rozwiązaniach omówionych powyżej, lecz poszukując alternatywnych rozwiązań Stotek zanurzył w piecu z ciekłym stopem stosunkowo niewielką zamkniętą komorę stanowiącą kompletny zespół pompy. Pozwala to rozwiązanie na zastosowanie praktycznie dowolnego pieca podtrzymującego czy topialnego.

W porównaniu do pieców „systemu Striko” piece te mają zarówno zalety, jak i wady.

Zalety:

- wyższa powtarzalność dozowania (deklarowane przez producenta odchylenie $\pm 1,5\%$),
- możliwość zastosowania z praktycznie dowolnym piecem (po jego adaptacji) czy to topialnym czy podtrzymującym,
- znacznie mniejsze zużycie sprężonego powietrza,
- niżej umieszczone okno zalewowe.

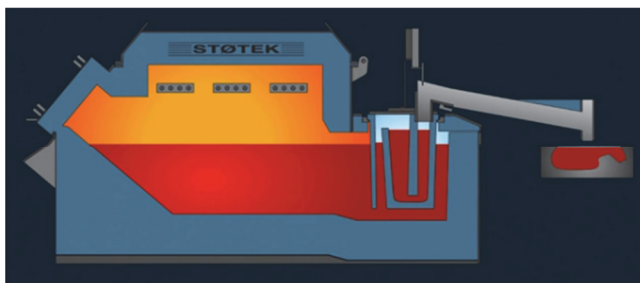
Wady:

- trudniejsze do przeprowadzenia czynności konserwacyjne i naprawcze systemu dozującego,
- rozwiązanie mniej rozpowszechnione na rynku ze wszystkimi tego konsekwencjami.

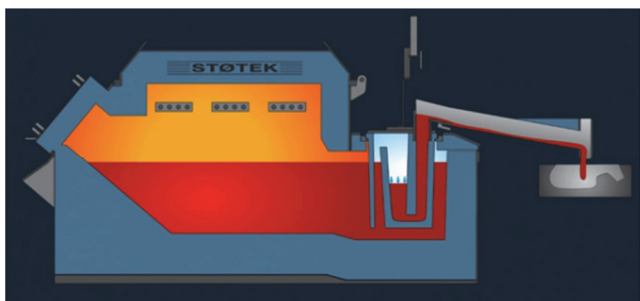


Rys. 7. Piec dozujący STOTEK Dosotherm [9]

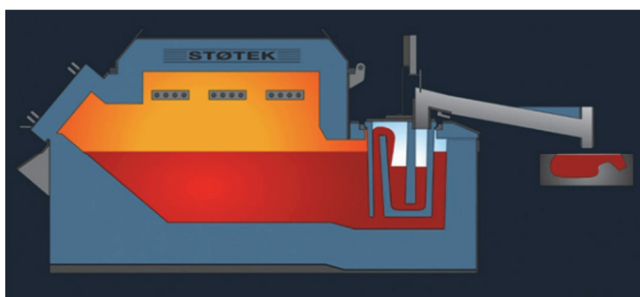
Poniżej schematycznie przedstawiona sekwencja pracy pieca dozującego.



Rys. 8. Pozycja wyjściowa, system dozujący gotowy do podawania metalu [9]



Rys. 9. Etap pompowania metalu do komory [9]

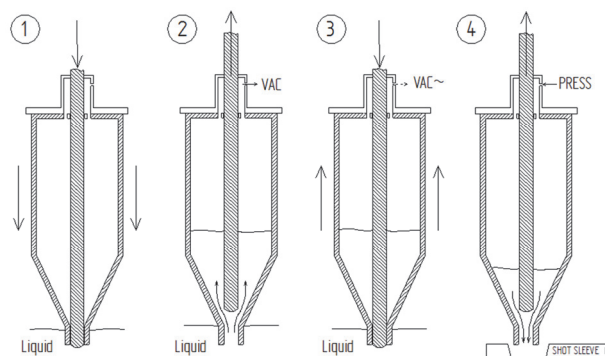


Rys. 10. Etap czerpania metalu przez system dozujący [9]

2.4. Piece dozujące podciśnieniowe

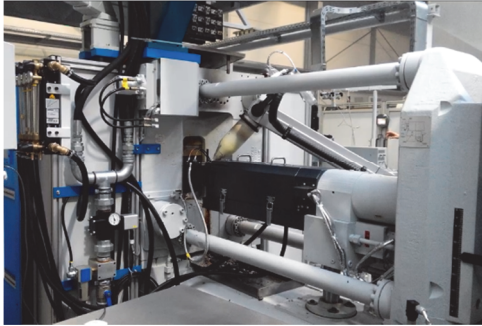
Systemy te wywodzą się w prostej linii od technologii VACURAL opracowanej pod koniec lat 70-tych przez firmę Muller Weingarten jako metoda odlewania ciśnieniowego z bardzo „niską próżnią” (20-50 mbar) uzyskiwaną w formie odlewniczej jak i w komorze prasowania co pozwala uzyskiwać odlewy o bardzo wysokim indeksie gęstości, praktycznie wolne od porowatości gazowej i zanieczyszczeń stopu (np. wydzielen tlenków). Była to pierwsza metoda pozwalająca produkować masowo odlewy nadające się do obróbki cieplnej czy dające się spawać. Kluczowym elementem tej technologii był w istocie bardzo prosty „mechanizm” zasysania ciekłego aluminium do komory prasowania w miarę obniżania ciśnienia (odsysania gazów) w formie i komorze prasowania.

I właśnie w firmie MELTEC podczas prac rozwojowych nad tym systemem niejako przez przypadek opracowano jego adaptację dla standardowych maszyn i standardowego procesu odlewania pod ciśnieniem. Powstał w ten sposób system AVDF (Aluminum Vacuum Dosing Furnace). Do szczelnego ceramicznego zbiornika zamocowanego na zmodyfikowanym ramieniu łyżki zalewowej lub ramieniu robota zasysany jest z praktycznie dowolnego (tyglowy, wannowy, topialny, podtrzymujący, itp.) pieca ciekły stop i po przemieszczeniu nad komorę prasowania maszyny zostaje do niej wlane (z regulowaną szybkością).



Rys. 11. Poszczególne etapy cyklu systemu AVDF firmy Meltec [9]

Po zanurzeniu ceramicznego zbiornika w kąpieli metalowej zostaje otwarty ceramiczny zawór w postaci pręta i w zbiorniku zaczyna być wytwarzane podciśnienie, po osiągnięciu jego odpowiedniej wartości metal zaczyna wypełniać wnętrze zbiornika, ilość zaciągniętego metalu kontrolowana jest przez całą wagą na której cały system jest zawieszony. Po osiągnięciu zadanej masy zacerpnętego metalu wstrzymywane jest wypompowywanie powietrza z wnętrza pojemnika a otwór przez który napływał do niego metal jest zaślepiany ceramicznym zaworem. Aby umożliwić pracę systemu zawór ten nie przytyka otworu całkowicie, między średnicą otworu a zaworem jest kilka dziesiątych części mm różnicy a potencjalny przeciek tą szczeliną kompensowany jest regulowanym i kontrolowanym podciśnieniem w zbiorniku. Tak uszczelniony zbiornik przenoszony jest nad punkt opróżniania po czym otwierany jest zawór i rozpoczyna się kontrolowane wylewanie nabranej porcji metalu, regulując wartością pod ciśnienia lub nadciśnienia w zbiorniku można zmieniać tempo jego opróżniania.



Rys. 12. Moment dozowania stopu przez piec systemu AVDF firmy Meltec [9]

Zalety systemu AVDF:

- metal czerpany spod powierzchni lustra metalu w piecu,
- minimalne straty ciepła przy przenoszeniu,
- bardzo dokładne dozowanie ($\pm 20g$ dla dozy 5kg),
- krótki i łatwo regulowany czas dozowania,
- małe straty energii,
- niewielkie zużycie sprężonego powietrza,
- niewielkie rozmiary szczelnej części systemu,
- prosta budowa,
- możliwość zastosowania z dowolnym piecem, również jako system zamocowany do robota przemysłowego,
- duża ilość parametrów pozwalających parametryzować proces.

Wady systemu AVDS

- wysoki koszt zakupu, zbliżony do innych pieców dozujących,
- wydłużony czas startu pierwszego cyklu, jak w łyżce zalewowej,
- czynności obsługowe i konserwacyjne wymagają dobrze przeszkolonego personelu i skrupulatnego przestrzegania procedur,
- podwyższona wrażliwość systemu na znaczne wahania temperatury metalu,
- ograniczenie wielkości dozy (do 20 kg),
- wrażliwość na zbyt nie stabilny czas cyklu maszyny.

3. Podsumowanie

Wszystkie wymienione rozwiązania mają swoje miejsce na rynku, wybór dla konkretnej aplikacji bardziej zależy od tradycji i doświadczeń konkretnej odlewni czy też dysponowanego budżetu niż kryteriów technicznych. Wydaje się że łyżki

zalewowe osiągnęły kres swoich możliwości rozwoju. Piece dozujące intensywnie są rozwijane i będą coraz częściej wybierane przez odlewnie. Nowe generacje systemów Striko i Stotek zwiększają precyzję, zmniejszają zużycie energii, dodają nowe możliwości (jak rafinacja czy filtracja stopu), upraszczają czynności obsługowe i poprawiają jego OEE. System AVDF firmy Meltec już wyszedł z wczesnej fazy rozwoju, jest sprawdzonym i coraz chętniej wybieranym rozwiązaniem, zwłaszcza przez odlewnie poszukujące możliwości poprawy powtarzalności dozowania jak i poprawy jakości stopu dozowanego do komory prasowania.

Literatura

- [1]. Dańko J. (2000): Machines and Equipment for High Pressure Die Casting. *AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne*, ISBN 83-88408-50-X, Kraków 2000, 277 p.
- [2]. Dańko J., Dańko R., Stojek J. (2008): Cognisable effect of model investigations of die casting processes. *Foundry Engineering – Quarterly of Polish Academy of Sciences, The Katowice Branch, Commission of Foundry Engineering*, vol 8, special issue 1/2008, ISSN (1897-3310), p. 57-62.
- [3]. Dańko J., Dańko R., Lelito J. (2008): Modelling of flow phenomena in the process of filling the die mould –an application of the Nova Flow Program. *Foundry Engineering – Quarterly of Polish Academy of Sciences, The Katowice Branch, Commission of Foundry Engineering*, vol 8, special issue 4, December 2008, ISSN (1897-3310), p. 31-36.
- [4]. Garber L.W.: Theoretical Analysis and Experimental Observation of Air Entrapment During Cold Chamber Filling. *Die Casting Engineer*, pp. 14 – 22 (May – Jun 1982).
- [5]. Thome M. C., Brevick J. R.: Modeling Fluid Flow in Horizontal Cold Chamber Diecasting Shot Sleeves. The Ohio State University. ERC/NSM-C-93-122 (1993).
- [6]. Qu Xue-liang. New Trends of Die Casting Market in China. *China Foundry*, 2006 3(4): 317-321
- [7]. Song Cai-fei. The Characteristics and Regularity of China Die Casting Industry Development. *China Foundry*, 2006 3(4): 308-313
- [8]. Praca zbiorowa: Innowacje w Odlewnictwie Ciśnieniowym. Instytut Odlewnictwa, 2010. ISBN 978-83-88770-49-4.
- [9]. Materiały katalogowe firm: PYROTEK, MELTEC, STOTEK, SPESIMA, STRIKOWESOFEN, ITALPRESSE, KUKA

Analysis of the Development of Dosing Systems of Aluminium Alloys in the Cold Chamber Die Casting Machines

The analysis of traditional and automated dispensing systems of aluminium alloys in cold-chamber die casting machines, prevalent in European foundries is presented in paper. The general characteristics of existing automated dispensing systems solutions, characterizing the functionality of new solutions in cooperation with the die casting machine, as well as the actions taken to further their development is presented.