

Nowe kierunki i rozwiązania w konstrukcji zimnokomorowych maszyn ciśnieniowych nowej generacji

W. Kowalczyk^a, R. Dańko^b

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

^a AGH University of Science and Technology, Faculty of Foundry Engineering, Reymonta 23 str., 30-059 Kraków, Poland

* e-mail: rd@agh.edu.pl

Otrzymano 22.10.2013; zaakceptowano do druku 12.12.2013

Streszczenie

W publikacji poddano analizie aktualny stan oraz kierunki rozwoju rozwiązań konstrukcyjnych maszyn ciśnieniowych z zimną komorą prasowania, decydujących jednocześnie o perspektywnym rozwoju tych maszyn oraz technologii odlewania ciśnieniowego. Skupiono się na głównych zespołach funkcjonalnych obejmujących układy: napędu hydraulicznego, zwierania i ryglowania, oraz prasowania w maszynach znanych firm, obecnych na rynku europejskim.

Słowa kluczowe: odlewnictwo ciśnieniowe, maszyny, konstrukcja, stopy aluminium.

1. Wprowadzenie

Światowy rynek odlewów ciśnieniowych a szczególnie odlewów ze stopów Al odnotowuje stały wzrost produkcji, niezależnie od okresowych zawirowań światowej ekonomii i sytuacji na rynku paliw i surowców [1]. Według danych za rok 2011 w Polsce wyprodukowano 330 tys. ton odlewów ze stopów Al.

Producenci odlewów są zmuszeni sprostać, a niekiedy wyprzedzać oczekiwania kluczowych dla tej branży odbiorców odlewów z przemysłu motoryzacyjny, elektrycznego i elektronicznego, budownictwa, a także przemysłu maszynowego, podobnie jak producenci maszyn i urządzeń dla odlewnictwa ciśnieniowego.

Analiza stanu w zakresie zespołów mechanicznych maszyn ciśnieniowych wskazuje na ich ewolucyjny rozwój, w którym postęp był uzyskiwany przez implementację nowych osiągnięć w dziedzinie elementów hydrauliki, a w szczególności automatyki

oraz łączenie istniejących rozwiązań w nowe kombinacje, co umożliwiło lepsze osiągi maszyn i zwiększanie ich wydajności.

Na tym tle można jednak wskazać te charakterystyczne rozwiązania, które wywarły istotniejszy niż pozostałe wpływ na ogólny postęp w rozwoju maszyn i sprawiły, że określenie „maszyny ciśnieniowe nowej generacji” jest w pełni uzasadnione. Należą do nich: zastosowanie sterowników PLC, sterowanie w czasie rzeczywistym układem prasowania maszyny, zastosowanie napędów elektrycznych, udana implementacja 2-płytkowych układów zwierania.

W ramach artykułu skupiono się na głównych zespołach funkcjonalnych obejmujących układy: napędu hydraulicznego, zwierania i ryglowania, oraz prasowania w maszynach ciśnieniowych, korzystając z danych oraz wyników badań, które nie są ogólnie dostępne w literaturze. Szczupłość informacji w tym względzie jest uzasadniona przez producentów maszyn względami ochrony własności, zwłaszcza nowych rozwiązań, a rozwiązania traktowane jako przyszłościowe nie są w ogóle ujawniane.

2. Układy napędu maszyn ciśnieniowych

Zdecydowana większość aktualnie produkowanych maszyn napędzana jest w całości hydraulicznie. Kluczowym elementem napędu hydraulicznego jest układ zasilający. Źródłem odpowiedniej ilości oleju o odpowiednim ciśnieniu są pompy hydrauliczne wraz z zabudowanymi w tak zwane bloki pompowe, układami sterowania i dystrybucji medium hydraulicznego. Ciśnienia systemowe z jakimi pracują maszyny aktualnej generacji mieszczą się w zakresie 140 do 200 bar (14 -20 MPa).

Historycznie najstarszym i najbardziej sprawdzonym są jedno lub wielostopniowe zespoły pomp o stałym wydatku (np. pompy łopatkowe, zębate), stosowane m.in. przez ITALPRESSE, COLOSIO, IDRA, FRECH-MW. Ciśnienie oraz ilość medium hydraulicznego, podawane w tym rozwiązaniu do poszczególnych grup funkcjonalnych maszyny, sterowane są przez elementy składowe bloku pompowego. W często występujących układach dwustopniowych, pierwszy stopień (pompa) ma zapewnić duży przepływ cieczy przy stosunkowo niskim ciśnieniu (realizacja funkcji: zwieranie i otwieranie formy, ruch rdzeni hydraulicznych czy siłownika wypychania). Drugi stopień ma na celu podanie niewielkiej ilości cieczy medium pod wysokim ciśnieniem (realizacja funkcji: ryglowanie układu zwierania, zasilanie agregatu prasowania – ładowanie hydro akumulatorów).

Na rysunku 1 przedstawiono typowy wielostopniowy układ pomp o stałym wydatku.

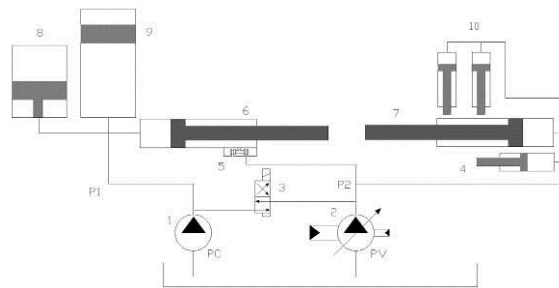


Rys. 1. Typowy wielostopniowy układ pomp o stałym wydatku [2]

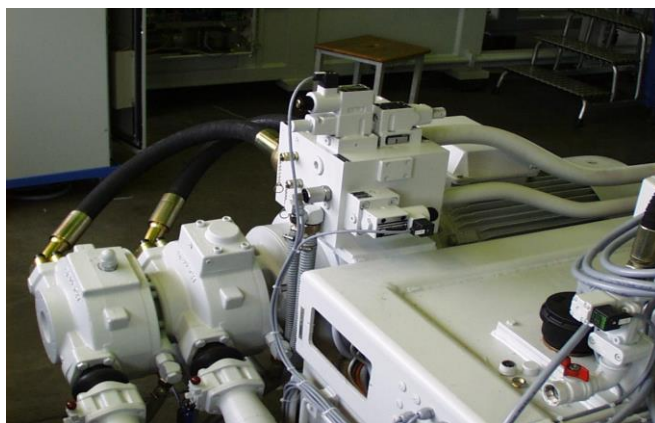
Nowszym rozwiązaniem jest tzw. **hybrydowy układ pomp**, czyli kombinacja pompy o stałym wydatku z pompą o zmiennym wydatku, napędzanych wspólnym silnikiem. Takie rozwiązanie jest stosowane przez firmy BÜHLER i FRECH [3]; w obu wypadkach są to pompy tłoczkowe o zmiennym wydatku typu MOOG sprzężone albo z pompą tłoczkową o stałym wydatku (FRECH), lub pompą zębatą o stałym wydatku (BÜHLER). Pompa o stałym wydatku głównie zasilą agregat prasowania, a pompa o zmiennym wydatku układy: zwierania, ruch rdzeni i wypychanie, a razie potrzeby jest wspomagana przez pompę o stałym wydatku. Pompy mogą pracować w trybie równoległym gdy każda zasilą

„swoje” zespoły maszyny lub w trybie hybrydowym gdy mogą sumować lub różnicować swoje wydajności pozwalając na łatwą regulację wydatku całkowitego. Upraszcza to rozwiązanie nieco sterowanie maszyną gdyż prędkości zwierania i otwierania regulowane są chwilowym wydatkiem samej pompy (pomp) a nie elementami bloku pompowego.

Wadą tego rozwiązania jest koszt samych pomp oraz ograniczona ich żywotność (przy zastosowaniu płynu HFC średnio 25-35 tys. godzin). Pompy te są także bardziej wrażliwe na stan medium hydraulicznego niż pompy łopatkowe czy zębate. Na rysunku 2 przedstawiono schemat hybrydowego układu pomp dla maszyny ciśnieniowej, a na rysunku 3 – przykład zastosowania takiego układu w maszynie typu DAK-M firmy FRECH.



Rys. 2. Schemat hybrydowego układu pomp dla maszyny ciśnieniowej: 1 - pompa o stałym wydatku, 2 – pompa o zmiennym wydatku, 3 - zawór równoległy/hybrydowy, 4 - siłownik wypychania, 5 - zawór regulujący prędkość tłoka prasowania, obieg sterujący, 6- siłownik prasowania, 7 - siłownik zwierania/otwierania, 8 - akumulator III-fazy, 9 - akumulator II-fazy, 10 - siłowniki rdzeni hydraulicznych



Rys. 3. Układ dwu pomp tłoczkowych, stałego i zmiennego wydatku w maszynie DAK-M firmy FRECH

Za rozwiązanie przyszłościowe, zwłaszcza w czasie wprowadzania technologii Energy-Saving można uznać układ **FcP** czy **SvP**, czyli kombinację pompy łopatkowej lub zębatej napędzanej silnikiem o regulowanych obrotach (np. poprzez przetwornik częstotliwości tzw. inwerter). Takie rozwiązanie jest oferowane przez firmy IDRA, AGRATI, UBE) [4], inni prezentowali już pracujące prototypy (FRECH). Idea regulowania chwilowego wydatku pompy jest słuszna – pozwala wyeliminować bardziej złożone układy elektro-hydraulicznych, analogicznie do znanych rozwiązań stosowanych w innych maszynach i urządzeniach.

Można odnieść wrażenie, że przyczynami ograniczającymi w przeszłości bardziej szerokiego wprowadzenia tego rozwiązania do odlewnictwa ciśnieniowego są:

- wysoki koszt inwerterów czy silników Serwo o odpowiedniej mocy,
- koszty napraw,
- brak na rynku sprawdzonych pomp tolerujących dłuższą pracę ze zmiennymi obrotami (zwłaszcza z niskimi rzędu 50 obr/min). Obecnie w ofertach producentów hydrauliki siłowej (np. Rexroth, Parker) można znaleźć całą gamę pomp przystosowanych lub nawet dedykowanych do pracy w takich warunkach,
- fakt, że proste zastąpienie „zwykłego” układu regulowanym może nie przynieść żadnych oszczędności energii (a to jest główny powód ich zastosowania), konieczne są długotrwałe testy i optymalizacja oprogramowania sterującego całą maszyną aby odpowiednio wykorzystać potencjał tego rozwiązania.

Na rysunku 4 przedstawiono przykład praktycznego zastosowania pomp Sytronix – SvP7000 produkcji Bosch Rexroth w maszynie gorąco-komorowej firmy AGRATI. Widoczny po prawej stronie mniejszy silnik elektryczny zapewnia cyrkulację medium w obiegu pomocniczym, obejmującym chłodzenie i filtrowanie.



Rys. 4. Praktyczne zastosowanie pomp Sytronix – SvP7000 produkcji Bosch Rexroth w maszynie gorąco-komorowej firmy AGRATI

Alternatywna gałąź napędów maszyn odlewniczych może obejmować różne kombinacje napędu elektrycznego z hydraulicznym oraz maszyny z napędem elektrycznym całkowicie pozbawione hydrauliki (np. DAW-E firmy FRECH).

3. Układy zwierania i ryglowania

W rozwiązaniach układów zwierania i ryglowania form można rozróżnić dwie zasadnicze grupy maszyn:

- z trzema płytami i dźwigniowo-przegubowym mechanizmem zwierania, znane od kilkadziesiąt lat (rys. 5),
- z dwiema płytami, zaprezentowane w połowie pierwszej dekady XXI wieku równocześnie przez takich

producentów jak: BÜHLER, ITALPRESSE, MÜLLER WEINGARTEN, IDRA.

Tradycyjne, 3 płytowe układy zwierania, oferowane w Europie między innymi przez firmy AGRATI, BÜHLER, COLOSIO, FRECH, IDRA, ITALPRESSE, TOYO, LK, OMS, MAICO) są rozwiązaniem sprawdzonym w dziesiątkach tysięcy wyprodukowanych maszyn. Jeden siłownik hydrauliczny, poprzez mechanizm dźwigniowo-przegubowy, realizuje zwieranie, otwieranie i ryglowanie formy. Ważną zaletą jest między innymi stabilność układu po zaryglowaniu, zapewniające utrzymanie siły zwarcia nawet po odłączeniu zasilania siłownika. Przy licznych zaletach układu, eksponowaną jego wadą jest duża sumaryczna długość układu zwierania, co przekłada się na ogólną długość maszyny oraz pewne utrudnienia eksploatacyjne i funkcjonalne.



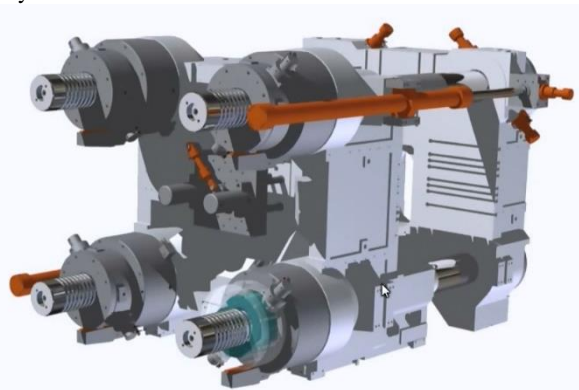
Rys. 5. Dźwigniowo-przegubowy układ zwierania w maszynie typu DAK-M firmy FRECH z klasycznym układem 3 płyt

W nowych, 3 płytowych rozwiązaniach maszyn firm (FRECH i TOYO) – w miejsce siłownika hydraulicznego do poruszenia mechanizmu (zwieranie-ryglowanie-odryglowanie-otwieranie) zastosowany jest napęd elektromechaniczny. Również do napędu układu wypychania zastosowany jest napęd elektromechaniczny. Jest to rozwiązanie dobrze rokujące na przyszłość dla mniejszych maszyn, poniżej 400 T (4 MN) siły zwierania. Jego głównymi zaletami są:

- zmniejszone zużycie energii, napęd elektryczny pobiera energię tylko podczas wykonywania danego ruchu, gdy układ zwierania się nie porusza (większość czasu pojedynczego cyklu maszyny) praktycznie nie zużywa energii,
- możliwość bardzo precyzyjnego pozycjonowania położenia płyty ruchomej,
- łatwość implementacji pozycji pośrednich, programów specjalnych (np. najazd płyty na chwytak robota/manipulatora),
- cicha praca maszyny.

Maszyny ciśnieniowe dwupłytowe o napędzie elektrycznym są oferowane między innymi przez firmy: ITALPRESSE, BÜHLER, IDRA, COLOSIO, UBE, TOSCHIBA, HPM, MÜLLER WEINGARTEN. Na rysunku 6 przedstawiono wizualizację przykładowej maszyny dwupłytowej typu DualCast firmy FRECH, ilustrującą budowę układu ryglującego i napinającego maszyny.

Całościowa ocena jakości tych maszyn, w tym trwałości, niezawodności i kosztów remontu nie jest na razie możliwa, ze względu na to, że większość z nich ma mniej niż 5 lat. Niewątpliwie ich ważną zaletą jest znaczne zmniejszenie długości, co wynika z danych zamieszczonych w tabeli 1, uwzględniającej maszyny ciśnieniowe nowej generacji produkowane przez znanych dostawców maszyn. Jak wynika z tego zestawienia, korzystne zmniejszenie długości maszyn z 2 płytami w stosunku do klasycznych 3 płytowych ujawniają się przede wszystkim w jednostkach większych, powyżej siły zwierania 1000 T (1 MN), co znajduje oddźwięk w oferowanych na rynku wielkościach maszyn.



Rys. 6. Wizualizacja przykładowej maszyny dwupłytywowej typu DualCast firmy FRECH

Podstawową zaletą maszyn 2-płytych jest fakt że cechują się one znacznie mniejszą wrażliwością na nierównoległość formy oraz niesymetryczne jej rozszerzanie temperaturowe. Siła zwierania wytwarzana jest ale również utrzymywana w 100% hydraulicznie, łatwo zatem kontrolować siłę generowaną przez każdy z czterech cylindrów napinających. Jest to szczególnie istotne w wypadku bardzo dużych form.

Do korzystnych cech maszyn z układem 2 płyt należy poprawa szczelności zwarcia płyt dzięki temu, że siła zwierania przenoszona jest na płyty maszyny a zatem formę w osi każdej z kolumn prowadzących i płyty są niejako „zawijane” na formie dociskając ją wzdłuż krawędzi.

Przewidywalną wadą maszyn, w stosunku do układu klasycznego, jest wysoki stopień skomplikowania układu, przejawiający się koniecznością stosowania kilkunastu siłowników wraz czujnikami kontroli ich położenia oraz ciśnienia (nacisku). Zwiększenie liczby elementów, zaworów, siłowników, uszczelnień, połączeń, węży, przewodów, wtyczek statystycznie wpływa na zwiększenie przewidywanej awaryjności takiego układu. Zdobyte już doświadczenie eksploatacyjne wskazuje na większą niż przewidywano energochłonność maszyn, związaną przede wszystkim z oporami przemieszczania i bezwładnością. Re należy pokonywać w bardzo krótkim czasie cyklu roboczego.

4. Agregat prasowania

Typowy, klasyczny agregat prasowania stosowany w maszynach firmy FRECH przedstawiono na rysunku 7.

Tabela 1. Porównanie długości całkowitej maszyn w przypadku zastosowania 2 i 3-płytyowego układu zwierania w maszynach nowej generacji różnych firm

	Długość całkowita, m			
	Maszyny o sile zwierania ca. 4000 T (4 MN)			
	ITALPRESSE	BÜHLER	FRECH	IDRA
3 – płytowa	18,1 (IP4000)	brak w ofercie	16,4 (GDK 4400)	18,4 (OL 4200S)
2 – płytowa	16,7 (TF 4100)	15,3 (Carat 4000 Compact)	wycofane z oferty	14,8 (OL 4000R)
Maszyny o sile zwierania ca. 2700 T (2,7 MN)				
3 – płytowa	14,15 (IP2500)	brak w ofercie	14,23 (GDK 2800)	13,4 (OL 2700S)
2 – płytowa	13,1 (TF 2700)	13,7 (Carat 2500 Compact)	wycofane z oferty	12,4 (OL 2800R)
Maszyny o sile zwierania ca. 1600 T (1,6 MN)				
3 – płytowa	11,3 (IP1650)	brak w ofercie	10,84 (DAK 1600)	11,2 (OL 1600S)
2 – płytowa	9,75 (TF 1500)	11,2 (Carat 1600 Compact)	brak w ofercie	10,2 (OL 1700R)
Maszyny o sile zwierania ca. 1000 T (1 MN)				
3 – płytowa	8,8 (IP900)	8,0 (Evolution 90 compact)	9,15 (DAK880)	9 (OL 900S)
2 – płytowa	8,3 (TF 1000)	9,2 (Carat 105 Compact)	brak w ofercie	8,9 (OL 1000R)

Symboliczne dla postępu w projektowaniu układów prasowania maszyn odlewniczych było wprowadzenie na szerszą skalę w połowie lat 90-tych ubiegłego wieku jednostek sterowanych w czasie rzeczywistym (RC, SC, ShotControll), co aktualnie jest traktowane jako standard. Oprócz układów pracujących wg. tzw. zasady pętli zamkniętej, oferowane są także układy uproszczone pracujące w tzw. pętli otwartej, przy czym nadal oferowane są układy klasyczne.

Ocena tego aspektu konstrukcji maszyn jest praktycznie niemożliwa nawet dla użytkowników, gdyż wiele zmian jest niewidocznych (np. modyfikacje algorytmów sterujących czy elementów wykonawczych zabudowanych wewnątrz bloków hydraulicznych).

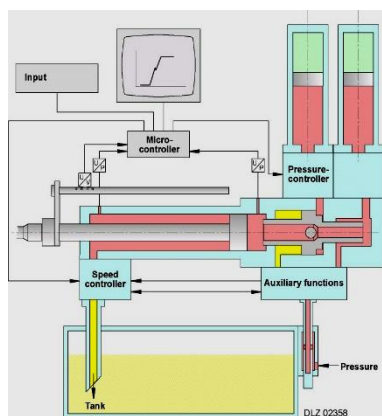


Rys. 7. Typowy agregat prasowania. Frech GDK

Aktualnie układy do sterowania procesem w czasie rzeczywistym ulegają stopniowej ewolucji z tendencją do stałego skracania się czasów reakcji elementów sterujących i wykonawczych. Ponadto implementowane są nowe rozwiązania z zakresu hydrauliki proporcjonalnej, serwo-proporcjonalnej,

elektroniki sterującej i kontrolnej. Zwiększa się rozdzielczość odczytu położenia tłoka, częstotliwość odczytu wartości z czujników. Równolegle modyfikowana jest konstrukcja układów hydraulicznych, tak aby można było wykorzystać nowe możliwości jakie dają nowe generacje elementów sterujących. Schemat układu OptiCast opracowanego przez MÜLLER WEINGARTEN a po modernizacji adoptowanego przez firmę FRECH został przedstawiony na rysunku 8. Kluczowymi parametrami nowoczesnych agregatów prasowania są:

- podniesienie granicy maksymalna prędkość tłoka (na „sucho” jak i w warunkach roboczych) powyżej 10 m/s, w aspekcie przygotowania maszyn do wykonywania odlewów cienkościennych ze stopów Al czy Mg spełniających wysokie standardy wytrzymałościowe i jakościowe z grupy tzw. odlewów strukturalnych,
- skracanie czasów wypełnienia formy i czasy reakcji (przyśpieszenie $V1 \rightarrow V2$, oraz czasu narostu ciśnienia doprasowania)
- możliwość precyzyjnego kontrolowania i wizualizacji parametrów tłoka we wszystkich fazach jego ruchu, wykorzystując osiągnięcia elektroniki, analogicznie do opracowanego przez MÜLLER WEINGARTEN układu OptiCast, zastosowanego w nowej generacji maszyn przez firmę FRECH).
- precyzyjnego i maksymalnie powtarzalnego profilu wyhamowania (redukcji prędkości pod koniec drogi wypełnienia) w celu ograniczenia pików ciśnienia metalu co często prowadzi do powstawania zalewek.
- precyzyjnego, powtarzalnego sterowania profilu narostu ciśnienia, tak aby można było możliwie wysokie ciśnienie wytwarzać w krzepnącym odlewie ale nie na tyle wysokie aby zniszczyło narastającą w czasie zewnętrzną warstwę krzepnącego odlewu,
- rozwiązania pozwalającego na stosowanie w nowych generacjach agregatów komponentów hydrauliki o większej tolerancji na odbiegającą od idealnej jakość medium hydraulicznego oraz serwo-zaworów o zwiększonej żywotności, zapewniających dłuższą bezawaryjną pracę maszyn ciśnieniowych



Rys. 8. Schemat układu OptiCast opracowanego przez MÜLLER WEINGARTEN a po modernizacji adoptowanego przez firmę FRECH

5. Wnioski

1. Zgromadzone dane eksploatacyjne użytkowników maszyn z różnymi układami napędu wskazują, że najważniejszą i perspektywiczną innowacją jest zastosowanie w maszynach ciśnieniowych kombinacji pompy (łopatkowej lub zębatej) z silnikiem o regulowanych obrotach. Pozwala to uprościć układ napędu i zmniejszyć zużycie energii.
2. Aktualny stan w zakresie nowej struktury przestrzennej maszyn wskazują, że maszyny z 2-płytkowym układem zwierania znajdują stałe miejsce w przemyśle odlewniczym i będą funkcjonować równolegle z klasycznym rozwiązaniem 3-płytkowym. Głównymi odbiorcami tej technologii będą zapewne duże odlewnie o bardzo wysokim poziomie techniczno-technologicznym, które będą zdolne spełnić zwiększone wymagania związane z eksploatacją tych maszyn, będąc równocześnie w stanie wykorzystać ich zalety, w tym oszczędności miejsca, możliwości użycia wyjątkowo dużych form do produkcji odlewów o dużej powierzchni podziałowej (tzw. odlewów strukturalnych).
3. Wydaje się, że mający cechy dużej innowację technicznej hybrydowy układ prasowania zaprojektowany przez TOYO, na razie przekracza możliwości firm i popyt na jego szersze wprowadzanie do odlewnictwa pomimo tego, że pozwala bardzo precyzyjnie sterować ruchem tłoka w I-fazie oraz profilem narostu ciśnienia w 3-fazie z zachowaniem wysokiej dynamiki potrzebnej w II-fazie.

Literatura

- [1] Dańko, J. (2000). Machines and Equipment for High Pressure Die Casting. *AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne*, ISBN 83-88408-50-X, Kraków, p. 277.
- [2] Dańko, J., Jędrzykiewicz, Z. (2006). Stanowisko doświadczalne do badania zjawisk przepływowych w procesach ciśnieniowego zapełniania formy odlewniczej. *Archiwum Odlewnictwa*. Rocznik 6, nr 18, tom II, s. 301-306.
- [3] Dańko, J., Stojek, J., Dańko, R. (2007). Model Testing of Casting Process In Cold-Chamber Die Casting Machine. *Archives of Metallurgy and Materials*. Vol 52, issue 3, pp. 503-533.
- [4] 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), pp. 57-62.
- [5] 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, ISSN (1897-3310), pp. 31-36.
- [6] Dańko, J., Stojek, J., Dańko, R. (2007). Model testing of casting process in cold-chamber die casting machine *Archives of Metallurgy and Materials*. Vol. 52, iss. 3, pp. 503-513.
- [7] Dańko, J., Dańko, R., Stojek, J., Górny, M. (2010). Filling the model die casting mould – analysis by means of the LEICA

- QWIN 2.2 program. *Archives of Metallurgy and Materials*. Vol. 55, iss. 3, pp. 779–785.
- [8] Praca zbiorowa: Innowacje w Odlewnictwie Ciśnieniowym. Instytut Odlewnictwa, 2010. ISBN 978-83-88770-49-4.
- [9] Die Casting Engineer. Numery z lat 2009-2013. *NADCA*, ISSN 0012-253X.
- [10] Materiały katalogowe firm: FRECH, ITALPRESSE, BÜHLER, IDRA, COLOSIO, UBE, TOSCHIBA, HPM, MÜLLER WEINGARTEN,

New Trends and Solutions in the Design of Cold-Chamber Die Casting Next-Generation Machines

Summary

The paper presents the current status and development trends of design solutions in cold chamber die casting machines. Authors focuses on the major functional elements of machines systems: a hydraulic drive, closing and locking systems and pressing system, in machines from known on the European market producers.