

# Badania nad możliwością modernizacji systemu sterowania odlewniczych maszyn ciśnieniowych

L. Pałyga, M. Stachowicz \*, K. Granat

Katedra Odlewnictwa, Automatyki i Tworzyw Sztucznych, Politechnika Wrocławska,  
ul. Smoluchowskiego 25, 50-372 Wrocław, Polska

\*Kontakt korespondencyjny. e-mail: mateusz.stachowicz@pwr.edu.pl

Otrzymano 18.06.2014; zaakceptowano do druku 22.08.2014

## Streszczenie

W artykule przedstawiono efekty modernizacji systemu sterowania maszyny ciśnieniowej firmy BÜHLER, typ H630-B, w której zmieniono typ sterownika PLC na wydajniejszy i przystosowany do akwizycji danych pomiarowych. Do oceny korzyści wynikających z przeprowadzonej modernizacji posłużono się urządzeniem pomiarowym, które dzięki swojej specyficznej budowie pozwala na określenie wpływu stanu technicznego kokilarki na jakość odlewów wytwarzanych w technice ciśnieniowego wytwarzania odlewów ze stopu EN AB-46000 (AlSi9Cu3). Przedstawiono możliwości modernizacji i diagnostyki maszyny. Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań niszczących i nieniszczących wykonanych odlewów, możliwe było powiązanie parametrów ich wytwarzania z aktualnym stanem technicznym odlewniczej maszyny ciśnieniowej.

**Słowa kluczowe:** Odlewnictwo Ciśnieniowe, Modernizacja, Sterowanie, Pomiar parametrów zalewania

## 1. Wprowadzenie

Odlewnictwo jest jedną z najstarszych metod wytwarzania elementów części maszyn i urządzeń, a technologia odlewania ciśnieniowego jest stosunkowo nowym procesem. Początki odlewnictwa ciśnieniowego - HPDC (ang. High Pressure Die Casting) datuje się na połowę XIX w. [1, 4]. Początkowo wykorzystywano ten najbardziej zaawansowany sposób odlewania do wytwarzania czcionek drukarskich. Obecnie wiele gałęzi przemysłu korzysta z możliwości nadawania wysokich cech jakościowych odlewom, jakie daje ta metoda wytwarzania. Głównymi odbiorcami odlewów ciśnieniowych są najdynamiczniej rozwijające się gałęzie przemysłu jak: lotnictwo, motoryzacja, sprzęt AGD, akcesoria meblowe, obudowy elektronicznych gadżetów itp.

Ze względu na złożoność procesu odlewania ciśnieniowego i dużą ilość parametrów niezbędnych do kontroli przebiegu zalewania oraz krzepnięcia i studzenia formy koniecznym jest stosowanie rozwiązań umożliwiających szybką analizę danych oraz generowanie na ich podstawie, odpowiednich komend dla urządzenia [2]. Pierwsze ciśnieniowe maszyny odlewnicze były obsługiwane ręcznie [4], a wytwarzane z ich pomocą odlewy charakteryzowały się dużą zmiennością właściwości użytkowych i wytrzymałościowych. Na początku lat 50. i 60. XX w. zaczęły pojawiać się pierwsze zautomatyzowane maszyny odlewnicze sterowane układem stycznikowo-przełącznikowym. Zmniejszyła się znacznie rola operatora takiej maszyny. Jego praca polegała na zalaniu komory tłoka ciekłym stopem, odbioru gotowego odlewu i naniesieniu pokrycia na wnękę formy. Na przełomie lat 80. i 90. XX w., zaczęto stosować zawory proporcjonalne w celu lepszej regulacji parametrów zalewania. Kolejnym etapem rozwoju ciśnieniowych maszyn odlewniczych było zastosowanie

w procesie zalewania sterowników PLC (ang. Programmable Logic Controller), kompleksowo obsługujących wszystkie zespoły urządzenia wraz z układami ciśnienia hydraulicznego, chłodzenia i zalewania. Aktualnie w najnowocześniejszych odlewniach stosuje się już w pełni zautomatyzowane maszyny odlewnicze wyposażone w urządzenia: do zalewania komory, odbioru i kontroli odlewu oraz spryskiwacza, który schłodzi formę lub naniesie pokrycie ochronne. Wadą takiego zestawu urządzeń jest koszt zakupu poszczególnych jego części. Dlatego, często odlewnie przystępują do modernizacji istniejących na wyposażeniu maszyn ciśnieniowych opartych na sterowaniu stycznikowo-przekątnikowym lub przestarzałymi sterownikami, zastępując je najczęściej możliwie najnowocześniejszym sterowaniem za pomocą sterowników PLC. Problemem jest jednak odpowiedni dobór elementów wykonawczych oraz pomiarowych, odpowiedzialnych za przetwarzanie sygnałów.

Do oceny jakości przeprowadzonej modernizacji systemu sterowania posłużono się maszyną odlewniczą szwajcarskiej firmy BÜHLER, typ H630-B (rys 1). Zainstalowane i poddane testom sterowanie oparto na sterowniku PLC firmy SIEMENS typ SIMATIC S7-300 CPU 315-2DP [7] wyposażonego w 120 wejść cyfrowych, 120 wyjść cyfrowych, 6 wejść analogowych oraz 4 wyjścia analogowe. Wykorzystano 102 wejścia cyfrowe, 90 wyjść cyfrowych, 5 wejść analogowych oraz 4 wyjścia analogowe. Celem modernizacji było zapewnienie płynnej regulacji prędkości zalewania wnętrza formy oraz ciśnieniem doprasowania, tzw. multiplikacją [4]. Nadrzędnym celem modernizacji było zapewnienie pełnej powtarzalności parametrów jakościowych wykonywanych odlewów oraz wykluczenie możliwości powstawania niekontrolowanych wad odlewniczych. Zastosowany sterownik umożliwiał również akwizycję danych dotyczących przebiegu procesu zalewania dla powiązania tych wartości z jakością wykonanych w trakcie badań odlewów. Dzięki odpowiednio dokładnej ilości danych możliwa była również ocena aktualnego stanu technicznego maszyny odlewniczej.



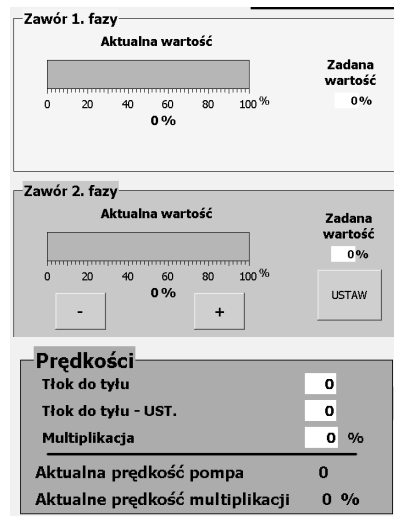
Rys. 1. Ciśnieniowa maszyna odlewnicza firmy BÜHLER, typ H630-B wraz z piecem podgrzewczym oraz urządzeniem do zalewania ciekłego stopu

## 2. Stanowisko badawcze

Maszyna odlewnicza firmy BÜHLER, typ H630-B, to maszyna zimmokomorowa posiadająca poziomy układ wtryskowy,

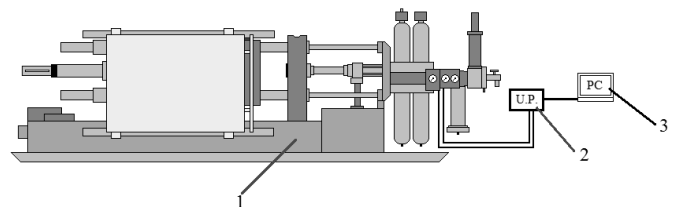
a komora wlewowa znajduje się poza piecem, w którym przetrzymywany jest ciekły stop EN AB-46000 (AlSi9Cu3).

Zmodernizowane stanowisko do zalewania wyposażone jest w 3 zawory proporcjonalne, które umożliwiają płynną regulację prędkości tłoka prasującego. Są to: zawór odpowiadający za wolny ruch tłoka (tzw. zawór 1 fazy wtrysku), który regulowany jest specjalną kartą analogową, zawór odpowiadający za szybki ruch tłoka (tzw. zawór 2 fazy wtrysku), który jest regulowany silnikiem hydraulicznym oraz zawór doprasowania (tzw. zawór 3 fazy, czyli multiplikacji), który również jest regulowany specjalną kartą analogową. Po wykonanej modernizacji regulacja tymi zaworami odbywa się za pomocą aplikacji HMI (ang. Human Machine Interface) (rys. 2), które znajduje się na frontowej obudowie szafy sterowniczej.



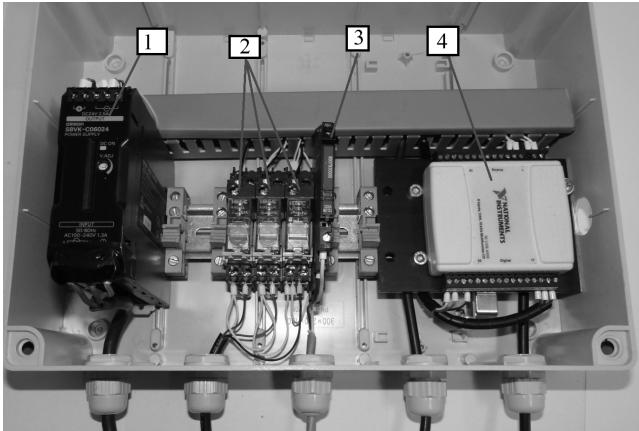
Rys. 2. Ekrany symulacyjne z aplikacją HMI, pokazujące możliwość płynnej regulacji prędkości tłoka

Do analizy i weryfikacji jakości sterowania, zmodernizowanym układem nadzorującym pracę urządzenia wyposażonym w sterownik PLC firmy SIEMENS oraz urządzenie HMI firmy SIEMENS, typ TP1200 COMFORT [8], przystosowano urządzenie pomiarowe (UP) mające na celu weryfikację jakości danych zbieranych przez sterownik PLC. Zbudowane na potrzeby badań weryfikacyjnych stanowisko badawcze [9] składało się z dwóch czujników ciśnieniowych, jednego liniału magnetycznego oraz urządzenia pomiarowego (UP) wraz z komputerem PC. Schemat toru pomiarowego pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego maszyny ciśnieniowej: 1) maszyna ciśnieniowa firmy BÜHLER, typ H630-B; 2) urządzenie pomiarowe, 3) komputer PC

Głównym elementem urządzenia pomiarowego była karta pomiarowa firmy N-I, model USB-6008 [5, 6] o dużej ilości kanałów wejść analogowych, szybkim licznikiem danych oraz odpowiednią częstotliwością próbkowania (rys.4).



Rys. 4. Widok podzespołów urządzenia pomiarowego: 1) zasilacz +24VDC, 2) przełączniki, 3) przełącznik o wysokiej częstotliwości przełączania, 4) karta pomiarowa

### 3. Wyniki badań

W trakcie badań mierzono ciśnienie multiplikacji (doprasowanie stopu) oraz ciśnienie hydroakumulatora (potocznie zwane azotem, ze względu na gaz zawarty w butli).

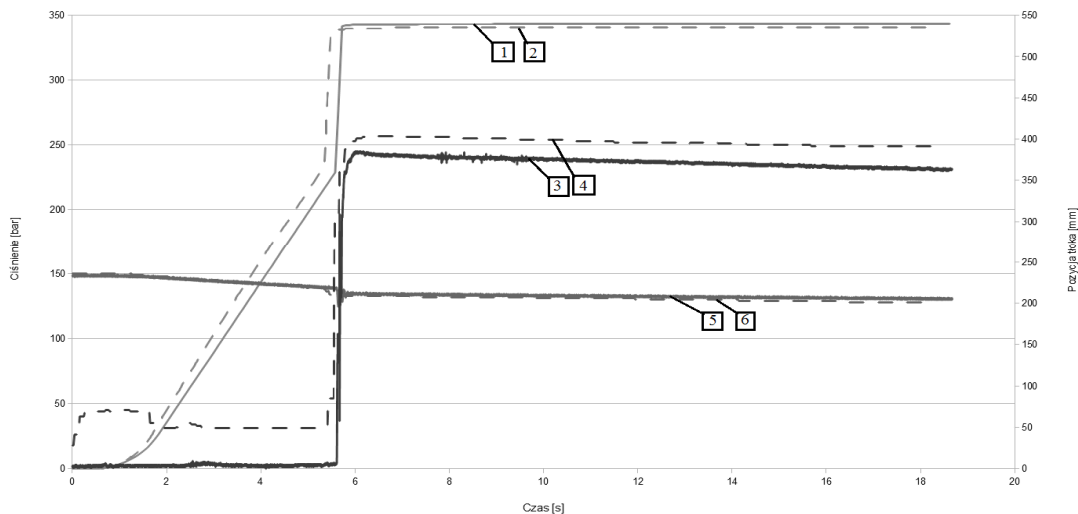
Hydroakumulator ma za zadanie „gromadzić” ciśnienie przed rozpoczęciem fazy wtłoku. W momencie gdy zawór 2 fazy (szybki ruch tłoka) zostanie otwarty, następuje bardzo duże zapotrzebowanie na wysokie ciśnienie w układzie. Pompa hydrauliczna nie jest w stanie osiągnąć takiej wydajności w krótkim czasie, dlatego stosuje się hydroakumulatory [1].

W tabeli 1 zestawiono możliwości nastaw zaworów mających wpływ na jakość powstałych odlewów wraz z osiągniętymi, maksymalnymi wartościami zmierzonych parametrów dla tych ustawień.

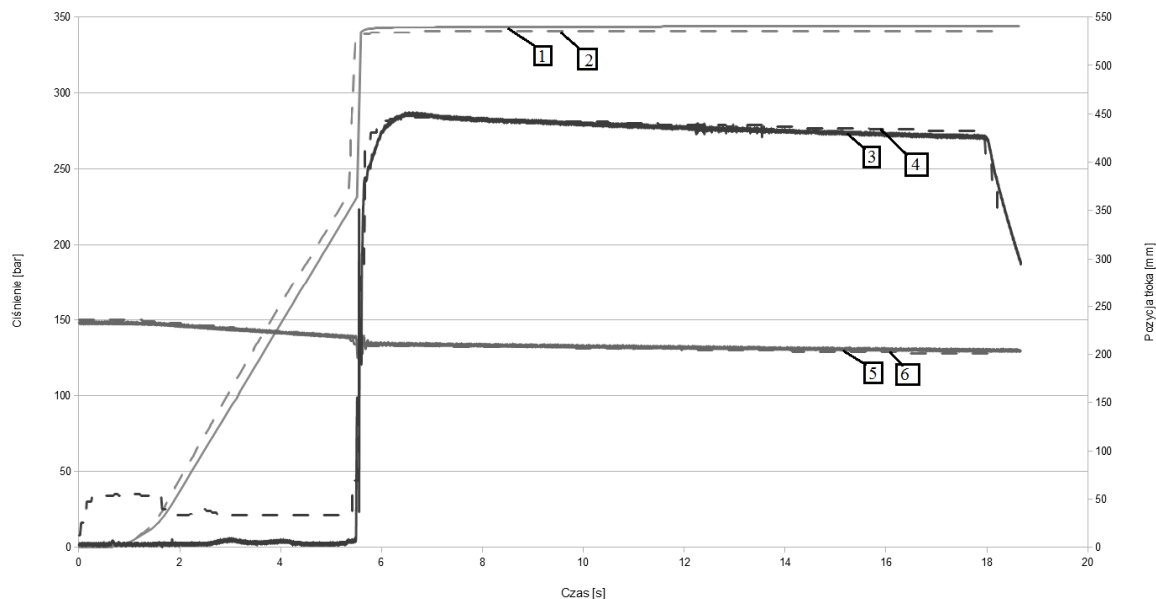
Tabela 1.  
Zestawienie kombinacji ustawień poddanych testom zaworów [9]

Seria	Wartość zaworu 2 fazy [%]	Zmierzona prędkość tłoka [m/s]	Wartość zaworu multiplikacji [%]	Ciśnienie multiplikacji [bar]
I	60	1,2	20	244
II	60	1,2	50	288
III	60	1,2	70	342

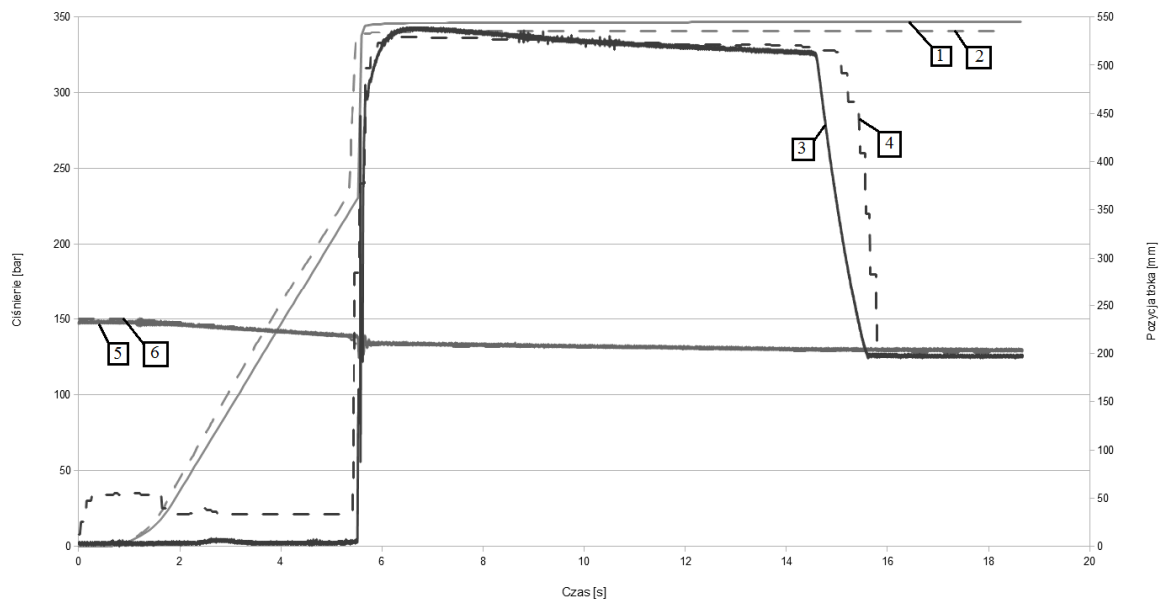
W każdej z trzech serii wykonano po trzy odlewy. Dwa z nich przeznaczano do określenia wartości maksymalnej siły zginającej powodującej zniszczenie odlewu na maszynie wytrzymałościowej. Natomiast trzeci odlew był poddawany analizie rentgenowskiej pod kątem występowania typowych dla tego sposobu odlewania wad odlewniczych, jak: jamy skurczowe, czy porowatość.



Rys. 5. Wykres z urządzenia pomiarowego z przebiegiem ciśnień oraz pozycją tłoka, seria 60/20: 1) pozycja tłoka - UP, 2) pozycja tłoka - PLC, 3) ciśnienie doprasowania – UP, 4) ciśnienie doprasowania – PLC, 5) ciśnienie hydroakumulatora – UP, 6) ciśnienie akumulatora – PLC



Rys. 6. Wykres z urządzenia pomiarowego z przebiegiem ciśnień oraz pozycją tłoka, seria 60/50: 1) pozycja tłoka - UP, 2) pozycja tłoka - PLC, 3) ciśnienie doprasowania – UP, 4) ciśnienie doprasowania – PLC, 5) ciśnienie hydroakumulatora – UP, 6) ciśnienie akumulatora – PLC



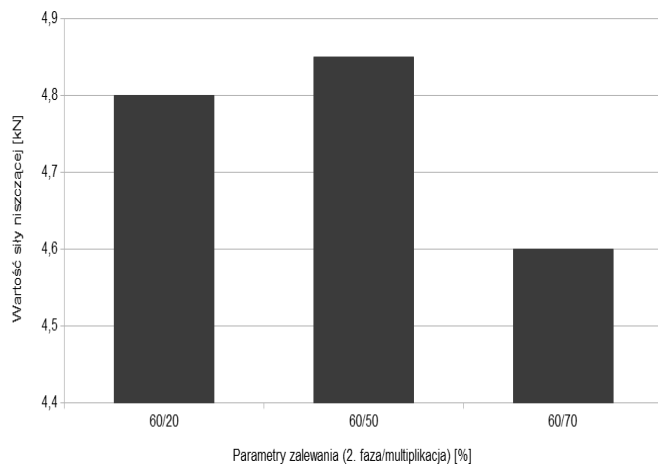
Rys. 7. Wykres z urządzenia pomiarowego z przebiegiem ciśnień oraz pozycją tłoka, seria 60/70: 1) pozycja tłoka - UP, 2) pozycja tłoka - PLC, 3) ciśnienie doprasowania – UP, 4) ciśnienie doprasowania – PLC, 5) ciśnienie hydroakumulatora – UP, 6) ciśnienie akumulatora – PLC

Na podstawie analizy rysunków 5-7 stwierdzono, że wraz z podwyższaniem parametrów pracy zaworu multiplikacji, układ wtryskowy po stronie hydraulicznej ma problemy z utrzymaniem nastawionej wartości ciśnienia multiplikacji. Na wykresie serii 60/50 widać, że problem pojawia się w 18 sekundzie pracy,

natomiast dla serii 60/70 w układzie ciśnienia problem występuje już w 14 sekundzie. Zaobserwowano również, że dane dla sterownika PLC są znacznie opóźnione w stosunku do danych zebranych przez UP (rys. 7). Zauważono, ponadto, że po

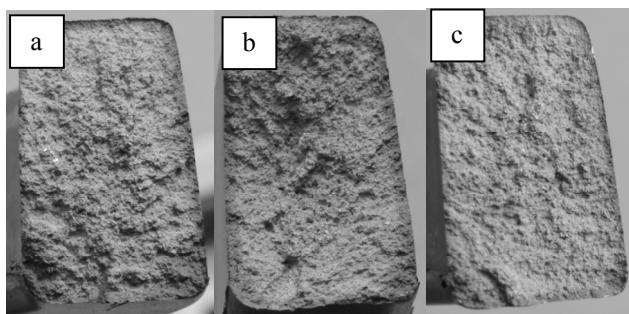
osiągnięciu maksymalnej wartości ciśnienia, spada ono szybciej, niż w poprzednich seriach.

Na rysunku 8 przedstawiono uśrednione wyniki wartości sił powodujących zniszczenie odlewów w obszarów o niezmiennym przekroju ramion. Odlewy pękały zawsze w tych samych miejscach.



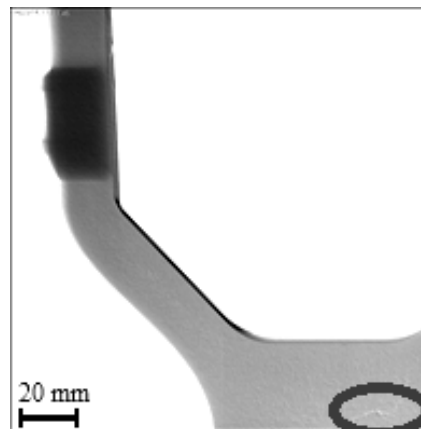
Rys. 8. Wyniki badań wytrzymałości na zginanie dla trzech serii odlewów: 60/20, 60/50, 60/70

Na rysunku 9 przedstawiono widok powierzchni przełomów po badaniu wytrzymałości dla każdej z 3 serii wykonanych odlewów.

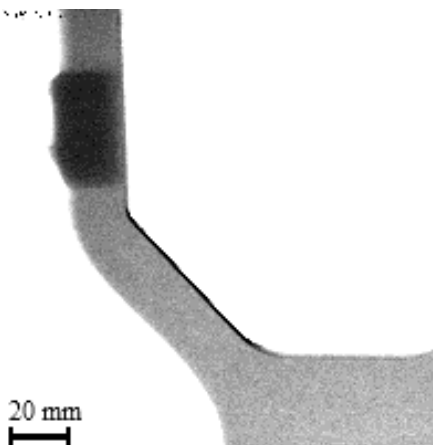


Rys. 9. Powierzchnia przełomów elementów po badaniach wytrzymałości dla serii: a) 60/20, b) 60/50, c) 60/70

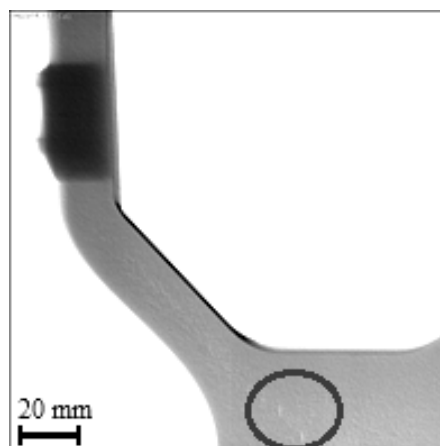
Analizując widok przełomów nie stwierdzono występowania typowych dla odlewania ciśnieniowego wad odlewniczych [3]. Poddane obserwacjom miejsca pęknięć stanowiły obszary w odlewach o najmniejszym przekroju poprzecznym. Na rysunkach 10 – 12 przedstawiono wyniki badań rentgenowskich korpusów odlewów, wraz z zaznaczonymi miejscami wad odlewniczych o małym znaczeniu technologicznym.



Rys. 10. Widok prześwietlonej próbki 60/20 z zaznaczonym pęcherzem gazowym w korpusie



Rys. 11. Widok prześwietlonej próbki 60/50 bez widocznych wad odlewniczych



Rys. 12. Widok prześwietlonej próbki 60/70 z zaznaczonymi pęcherzami gazowymi w korpusie

## 4. Wnioski

Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że odlewy wykonane w trzech seriach ze stopu EN AB-46000 (AlSi9Cu3) są prawidłowe. Kombinacje ustawień zaworów, z jakimi zostały wykonane odlewy pokazują, że zostały one dobrane poprawnie. Jednak przy małym ciśnieniu doprasowania oraz przy zbyt dużym powstały minimalne wady, które nie wpływają jednak na ogólną jakość odlewów.

Dzięki przeprowadzonym badaniom wskazano jak ważna może być diagnostyka ciśnieniowych maszyn odlewniczych. Jest to szczególnie widoczne, gdy maszyna pracuje ze skrajnymi nastawami, np. kiedy oczekiwano od urządzenia maksymalnego ciśnienia multiplikacji. Układ hydrauliczny maszyny nie był w stanie utrzymać stałego ciśnienia doprasowania do końca procesu zalewania, i w związku z tym może to oznaczać, że konieczna jest interwencja służb utrzymania ruchu w celu sprawdzenia odpowiednich zespołów maszyny odlewniczej.

Zaleca się, aby diagnostyka urządzenia była prowadzona równolegle w czasie całego czasu użytkowania urządzenia odlewniczego. Dlatego system sterowania maszyną odlewniczą powinien być wyposażony w przenośną pamięć masową (*pendrive*), na której zostaną zapisane parametry zalewania, tak jak to wykazano w trakcie badań. Dzięki temu istnieje możliwość odtworzenia wykresów na komputerze PC i przeanalizowania zmian w dłuższym okresie pracy urządzenia.

## Podziękowania

Firmie ALUDESIGN Sp. z o.o., a w szczególności panu Janowi Opiola, dyrektorowi zakładu produkcyjnego za możliwość przeprowadzenia badań.

Firmie MONEVA Polska Sp. z o.o., a w szczególności panu Andrzejowi Knihnickiemu, dyrektorowi zakładu produkcyjnego oraz panu Wojciechowi Szkodzie, kierownikowi odlewni za możliwość wykonania badań nieniszczących na maszynie YXLON, typ Y.MU2000.

## Literatura

- [1] Andersen, W. (2004). *Die Cast Engineer: A Hydraulic, Thermal, And Mechanical Process*, CRC Press. ISBN 02-03997-39-5
- [2] Kaufman, G.J. & Rooy, E.L. (2004). *Alloy Castings: Properties, Processes and Applications*, ASM International. ISBN 0-87170-803-5
- [3] Kozakowski, S. (2001). *Badania odlewów. Technologie odlewnicze, typowe dla nich wady i metody ich ujawniania*. Warszawa: Wydawnictwo Biuro Gamma, ISBN 83-87848-25-5.
- [4] Perzyk, M. (2004). *Odlewnictwo*. Warszawa: Wydawnictwo WNT. ISBN 83-204-2931-5
- [5] National Instruments – materiały szkoleniowe
- [6] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pl/nid/201986> [dostęp: 26.05.2014r.]
- [7] <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7315-2AH14-0AB0> [dostęp: 26.05.2014r.]
- [8] [http://www.automatyka.siemens.pl/solutionandproducts\\_ia/7660.htm](http://www.automatyka.siemens.pl/solutionandproducts_ia/7660.htm) [dostęp: 30.05.2014r.]
- [9] Pałyga, Ł. (2014). *Analiza wpływu sterowania zautomatyzowanym stanowiskiem do zalewania ciśnieniowego na zamiany jakości wspornika oparcia odlewianego ze stopu EN AB 46000*, praca dyplomowa, Wrocław: Politechnika Wroclawska.

# Research on Control System Modernization Possibilities of Pressure Die Casting Machines

## Abstract

The article presents the effects of the modernization of the BÜHLER pressure casting machine control system, Type H630-B, in which the PLC controller was changed to more efficient and suitable for data acquisition. To assess the benefits of the modernization diagnostic device was used, which due to their specific elements allows to determine the impact of the technical state of die casting machine on the quality of castings made with an alloy EN AB-46000 (AlSi9Cu3). The possibilities of modernization and diagnostic equipment were shown. Based on the analysis of destructive and non-destructive research results of made castings, it was possible to determine a relation between the parameters of their production and the current technical condition of the pressure die casting machine.