

Diagnostowanie i czyszczenie kanałów chłodzących form wtryskowych

Diagnosing and cleaning of injection mould cooling channels

JERZY DOMERACKI
JAROSŁAW JAŚKOWIAK
BOLESŁAW PRZYBYLIŃSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.4.45>

W technologii wytwarzania elementów z tworzyw sztucznych często konieczne jest zastosowanie chłodzenia w trakcie procesu przetwórstwa. W przypadku form wtryskowych realizuje się to poprzez przepływ medium chłodzącego przez kanały formy obejmujące jej gniazdo. Niestety, w wyniku różnych – opisanych w artykule – czynników z czasem przepływ cieczy chłodzącej zaczyna być utrudniony, a niekiedy – całkowicie zablokowany, co powoduje uszkodzenia wyprasek. Zaprezentowano innowacyjne urządzenie technologiczne umożliwiające ocenę zanieczyszczenia kanałów chłodzących, ale przede wszystkim przeznaczone do skutecznego usuwania zanieczyszczeń w postaci osadu i szlamu, zalegających w kanałach chłodzących.

SŁOWA KLUCZOWE: chłodzenie form wtryskowych, zanieczyszczenie kanałów chłodzących, urządzenie do testowania i czyszczenia kanałów CoolingCare CA-6

Technology for making plastic elements often requires cooling of the process. In the case of injection moulds, the process is cooled down by coolant passing through mould channels, which cool the mould form. Unfortunately, due to factors described in the article, the coolant flow becomes gradually blocked and at times comes to stop, damaging the forms. The article presents an innovative technological tool allowing for assessment of cooling channels pollution, but more importantly – designed for removing sedimentation, and sludge from the cooling channels.

KEYWORDS: mould channel cooling, mould channel pollution, CoolingCare CA-6 – tool for cooling channel testing and cleaning

Wtrysk należy do najbardziej popularnych metod stosowanych w przetwórstwie tworzyw sztucznych. W uproszczeniu proces wytwarzania detali można podzielić na następujące fazy: zamykanie formy, wtrysk, docisk, chłodzenie, uplastycznianie, otwieranie formy i wypychanie.

Najdłuższą i jednocześnie jedną z najważniejszych faz procesu jest chłodzenie formy wtryskowej. Temperatura krzepnięcia oraz krystalizacji tworzyw sztucznych jest różna, dlatego konieczne jest bieżące dostosowywanie temperatury chłodzenia wypraski będącej w formie do parametrów danego tworzywa sztucznego.

Charakterystyka procesu chłodzenia ma bezpośredni wpływ na jakość wypraski oraz wydajność całego procesu [2], gdyż czas chłodzenia może stanowić ponad 60% całkowitego czasu cyklu podczas produkcji wypraski. Prawdłowo zaprojektowane, wydajne chłodzenie skraca zatem cykl, a tym samym podnosi ogólną produktywność formy.

Kanały należy rozmieszczać w taki sposób, aby zapewniły równomierny rozkład temperatury na powierzchni gniazda formującego, dzięki czemu unika się zbyt dużego gradientu temperatury na powierzchni chłodzonej. Intensywność chłodzenia powinna się zmniejszać w kierunku płynięcia tworzywa [2].

Aby zapewnić właściwe chłodzenie gniazd formy, różnica temperatur na wejściu do formy i wyjściu z niej nie powinna przekraczać 2÷4°C. Można to osiągnąć poprzez odpowiednie zaprojektowanie geometrii kanału (kształtu i wielkości) oraz odległości od powierzchni gniazda formującego.

Najczęściej, ze względu na możliwości technologiczne, kanały mają przekrój kołowy. Średnice otworów chłodzących wynoszą zazwyczaj od 6 do 20 mm, przy czym otwory powinny być jak największe dla danej formy – przy małych średnicach przepływ cieczy jest utrudniony, a tym samym gorsze jest chłodzenie formy, a przy zbyt dużej średnicy kanału kołowego intensywność chłodzenia nie wzrasta, natomiast niepożądanie zwiększa się ilość cieczy użytej do chłodzenia [3].

Najłatwiejszym sposobem wykonywania kanałów chłodzących jest wiercenie prostych otworów w elementach formy. Ta tradycyjna, stosunkowo tania metoda ma podstawową wadę wynikającą z ograniczenia geometrycznego kształtu i przebiegu kanałów, co przekłada się na przepływ cieczy chłodzącej i odbiór ciepła z poszczególnych fragmentów formy (odległość kanału chłodzącego od powierzchni formującej jest inna w każdym miejscu formy). Wadą tej metody jest również możliwość naruszenia integralności dwóch sąsiednich kanałów (przeciek), co może zakłócić prawidłowe funkcjonowanie systemu chłodzenia.

Dążenie do wyeliminowania niedoskonałości kanałów oraz zwiększenia wydajności technologii wtryskiwania przyczyniło się do opracowania nowoczesnych systemów chłodzenia form wtryskowych, takich jak układy kanałów konformalnych, chłodzenie konturowe czy też technologia BFMOLD [6].

Niezależnie od sposobu wykonania kanałów chłodzących formy, w procesie produkcyjnym bardzo często następuje stopniowa utrata zdolności odbierania ciepła przez medium chłodzące ze względu na zanieczyszczenie kanałów produktami korozji i kamieniem. Spadek wydajności chłodzenia przekłada się na czas potrzebny do efektywnego odbioru ciepła z gniazda formującego, co z kolei ma negatywny wpływ na czas cyklu. Koszty wytwarzania elementów z tworzyw sztucznych są szacowane w dużym stopniu w oparciu o czas wytwarzania części. Dlatego współcześnie – gdy od firm oczekuje się nieustannego zwiększania wydajności i redukcji kosztów – utrzymanie wysokiej efektywności chłodzenia przez cały okres życia formy może się okazać czynnikiem o kluczowym znaczeniu.

* Mgr inż. Jerzy Domeracki (jerzy.domeracki@fado.com.pl), mgr Jarosław Jaśkowiak (jarek.jaskowiak@fado.info) – FADO Sp. z o.o., Bydgoszcz, dr inż. Bolesław Przybyliński (przyb@utp.edu.pl) – Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

Zanieczyszczenia kanałów chłodzących form

Najczęściej w przetwórstwie tworzyw sztucznych do chłodzenia stosuje się wodę sieciową. Jej przepływ wraz ze wzrostem temperatury intensyfikuje wytrącanie się zanieczyszczeń w postaci szlamu i osadów, które, osiadając na ściankach kanałów, redukują przepływ medium chłodzącego, a tym samym uniemożliwiają równomierne odprowadzenie ciepła od wypraski. To z kolei może prowadzić do powstawania dużych naprężeń powodujących zniekształcenia i pęknięcia detali, jak również inne wady powierzchniowe, takie jak: niedolewy, smugi czy widoczne linie łączenia. Nie bez znaczenia jest fakt, że utrudnione odprowadzanie ciepła przekłada się na wydłużenie czasu cyklu, przez co zmniejsza się wydajność procesu wtryskiwania.

Podstawowymi zanieczyszczeniami kanałów chłodzących są produkty korozji oraz kamień kotłowy (rys. 1). Efektem korozji żelaza jest rdzawy, twardy osad (zgorzelina) lub czarny szlam, składający się z tlenków żelaza – magnezytu (produktu korozji tlenowej). Może być z dodatkiem czerwonej lub brązowej rdzy (czerwony tlenek żelaza). Osad nie tylko wstrzymuje przepływ wody, lecz także powoduje powstawanie pod jego warstwą kolejnych uszkodzeń poprzez rozwijającą się nieprzerwanie korozję wżerową, prowadzącą do perforacji ścianek kanałów, a nawet do przecieków między nimi. Dopiero doczyszczanie do czystego metalu może przerwać ten proces.

Zawarte w wodzie wodorowęglany wapnia i magnezu są nietrwale termicznie i podczas ogrzewania rozpadają się, tworząc węglany, a tym samym kamień. Osadzaniu się kamienia sprzyja twardość wody i jej tempera-

tura – im są wyższe, tym więcej kamienia się osadzi. Wytrącony z wody kamień jest mieszaniną takich substancji, jak: nierozpuszczalny węglan wapnia CaCO_3 , łatwiej rozpuszczalny węglan magnezu MgCO_3 , wodorotlenek magnezu, siarczan(VI) wapnia i odwodniony kwas krzemowy (tzw. krzemionka). W zależności od tego, którego związku jest najwięcej, wyróżnia się: kamień węglanowy, kamień siarczanowy i kamień krzemianowy [1, 7].

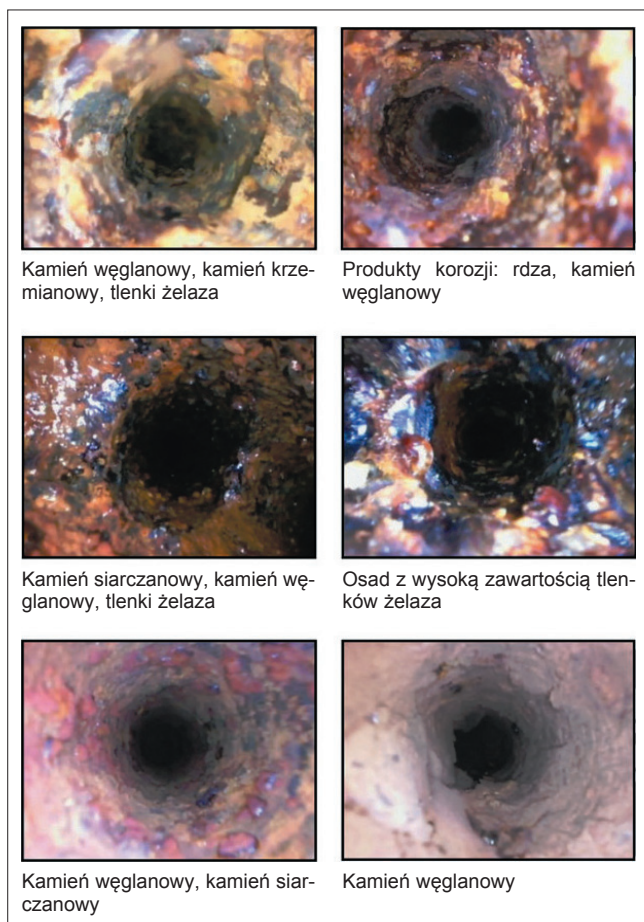
Kamień kotłowy jest termoizolatorem między medium chłodzącym a formą (1 mm kamienia izoluje tak jak 10 mm stali) i jego nagromadzenie w kanałach chłodzących formy zmniejsza skuteczność chłodzenia wypraski podobnie jak oddalenie kanałów chłodzących o kolejnych kilka milimetrów od powierzchni formującej [4].

Metoda diagnozowania drożności kanałów oraz usuwania zanieczyszczeń

Stopień zanieczyszczenia kanałów można diagnozować poprzez porównanie parametrów chłodzących formy nowej i formy w trakcie użytkowania. Rozkład temperatury formy wyznacza się kamerą termowizyjną lub porównując wydatek przepływu przez poszczególne kanały form po procesie produkcji formy z wydatkiem zmierzonym po określonym czasie jej pracy. W przypadku pogorszenia się wyników pomiarów zaleca się oczyścić kanały chłodzące.

Powszechnie stosuje się metody polegające na przepłukiwaniu kanałów aktywnym chemicznie medium. Tego typu czyszczenie, zwłaszcza w przypadku stosowania agresywnych mediów czyszczących na bazie m.in. kwasu fosforowego i solnego, niesie ryzyko uszkodzenia formy lub jej elementów, takich jak uszczelki czy przegrody chłodzące. Z kolei efektywność bezpiecznych rozwiązań, opartych na czyszczeniu ultradźwiękowym, jest w przypadku czyszczenia kanałów chłodzących niska ze względu na utrudniony dostęp do wewnętrznych powierzchni kanałów. Stąd konieczność poszukiwania skutecznych a jednocześnie bezpiecznych metod czyszczenia układów chłodzenia.

W efekcie wieloletnich poszukiwań powstało urządzenie CoolingCare CA-6 (rys. 2) przeznaczone do diagnozowania, czyszczenia i konserwacji kanałów chłodzących, w tym skomplikowanych kanałów chłodzenia



Rys. 1. Przykłady zanieczyszczeń kanałów chłodzących formy wtryskowej



Rys. 2. System CoolingCare CA-6 [5]

konformalnego form wtryskowych [5]. Dzięki wyspecjalizowanej, innej dla każdego obiegu pompie umożliwia ono niezależne, wydajne i skuteczne czyszczenie jednocześnie sześciu kanałów formy o szerokim zakresie średnic – od 2 do 20 mm (co jest szczególnie istotne w przypadku chłodzenia konformalnego) oraz bez względu na ich długość.

Urządzenie CoolingCare zostało wyposażone w szereg funkcji mających na celu usprawnienie utrzymania wysokiej wydajności chłodzenia form wtryskowych. Intuicyjne oprogramowanie wraz z pełną automatyzacją procesu czyszczenia przyczyniają się do minimalizacji czasu potrzebnego na obsługę urządzenia przez operatora. Zaawansowany system archiwizacji danych pozwala na zapisywanie wydatków przepływu poszczególnych kanałów, a następnie – czyszczenie do momentu osiągnięcia wydatków referencyjnych, zdefiniowanych przez użytkownika podczas pierwszego czyszczenia.

Opatentowany proces czyszczenia kanałów Dynarins, charakteryzujący się wysoką dynamiką pulsacji medium wewnątrz kanału, pozwala na stosowanie mniej agresywnej chemii, bezpiecznej dla stali i metali kolorowych, a jednocześnie skutkuje zwiększeniem ilości usuwanych zanieczyszczeń. Tryb pracy urządzenia można dostosować do stopnia zanieczyszczenia kanałów i oporów przepływu, by uzyskać optymalne rezultaty. Po czyszczeniu urządzenie automatycznie suszy instalację sprężonym powietrzem.

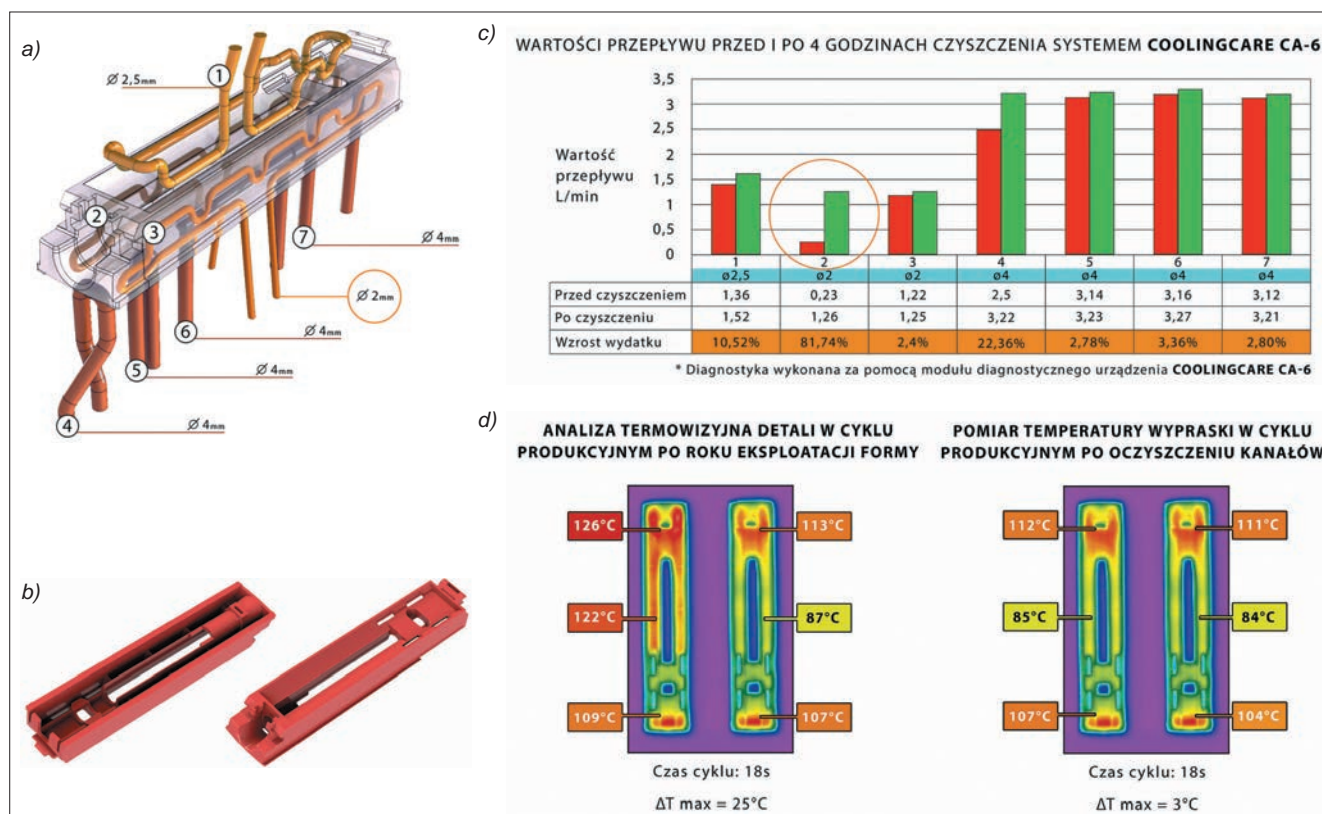
Proces czyszczenia, neutralizacji i opróżniania instalacji przebiega automatycznie – pozwala to na usprawnienie prac konserwacyjnych. Po jego zakończeniu następuje również automatyczny proces pasywacji kanałów – dzięki temu układ chłodzący jest dodatkowo zabezpieczony przed korozją.

Unikatowym dla stanowisk czyszczących rozwiązaniem jest zastosowanie w CoolingCare CA-6 testu drożności kanałów (w przypadku niedrożności któregoś z kanałów istnieje możliwość jego przepchania dzięki wbudowanemu modułowi udrażniania). Funkcja testu drożności pozwala zdefiniować wzorcowe parametry przepływu dla danego kanału, które są zapisywane w bazie danych urządzenia i mogą służyć za punkt odniesienia podczas późniejszego lub powtórnego czyszczenia. Trzy programy czyszczące w połączeniu z pełną archiwizacją danych przypisanych do konkretnej formy umożliwiają śledzenie postępujących zmian układu.

Zaimplementowane w urządzeniu aplikacje umożliwiają: podgląd pracy urządzenia online, przegląd wyników czyszczenia z archiwum na urządzeniach mobilnych oraz wysyłanie alertów w postaci SMS-ów w momencie zakończenia czyszczenia lub w przypadku wystąpienia zdarzeń niepożądanych, np. obniżenia się poziomu płynów w zbiornikach, spadku temperatury płynów czy braku szczelności formy.

Wszystkie te wbudowane funkcje sprawiają, że CoolingCare CA-6 nie tylko jest narzędziem do udrażniania kanałów chłodzenia i prowadzenia nadzoru technicznego chłodzenia w formach wtryskowych, ale także pozwala ocenić drożność przepływu kanałów form nowo wytworzonych (możliwość wykrycia np. nieprawidłowości związanych ze złożeniem formy) i dołączyć taki raport do dokumentów przekazywanych odbiorcy.

Urządzenie zostało wyposażone w aplikację do przeprowadzania samodiagnostyki online w celu identyfikacji przyczyn ewentualnej awarii. Monitoring zamontowanych w urządzeniu pomp membranowych pod kątem liczby przepracowanych godzin pozwala na wykonanie w zaplanowanym czasie np. wymiany membran.



Rys. 3. Analiza skuteczności czyszczenia kanałów formy dwugniazdowej: a) schemat kanałów chłodzących formy wtryskowej do produkcji elementu napełniarki tytoniu, b) wypraska, c) wykres wydatków przepływów przez kanały chłodzące przed czyszczeniem i po nim, d) analiza termowizyjna skuteczności chłodzenia wyprasek przed czyszczeniem (lewy obraz) i po czyszczeniu (prawy obraz)

Wyniki badań skuteczności czyszczenia kanałów urządzeniem CoolingCare CA-6

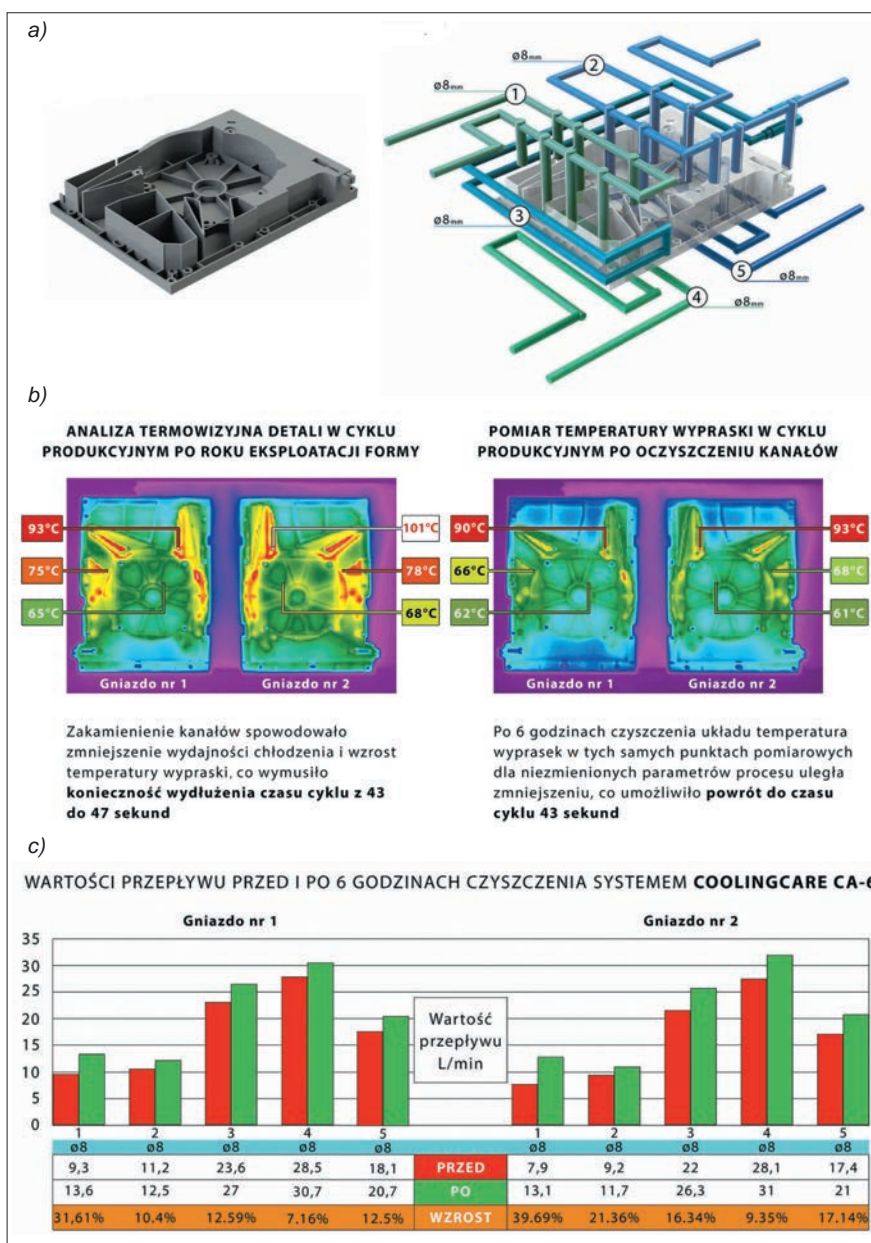
Skuteczność czyszczenia urządzeniem CoolingCare CA-6 została potwierdzona w praktyce zarówno w przypadku klasycznych, wierconych kanałów, jak i chłodzenia konformalnego. Na rys. 3 przedstawiono skuteczność czyszczenia kanałów chłodzących formy dwugniazdowej chłodzonej siedmioma kanałami o różnych średnicach, służącej do wytwarzania elementu napełniarki tytoniu.

Spadek wartości przepływu medium chłodzącego w jednym z obiegów spowodował wzrost temperatury wypraski i jej deformację. W celu otrzymania wymaganych tolerancji wymiarowych detalu konieczne było wydłużenie czasu cyklu z 18 do 26 s. Po oczyszczeniu kanałów chłodzących oba gniazda formy były chłodzone podobnie intensywnie – maksymalna różnica temperatury w punktach gniazd wynosiła 3°C [5].

Na rys. 4 przedstawiono skuteczność czyszczenia formy dwugniazdowej chłodzonej sześcioma kanałami o jednakowej średnicy. Forma jest przeznaczona do produkcji obudów układów napędowych rolet.

Zakamienienie kanałów chłodzących tej formy spowodowało zmniejszenie wydajności chłodzenia i wzrost temperatury wypraski, co wymusiło wydłużenie czasu cyklu wtrysku z 43 do 47 s.

Po sześciu godzinach czyszczenia układu temperatura wyprasek w tych samych punktach pomiarowych przy niezmiennych parametrach procesu uległa zmniejszeniu i czas cyklu wtrysku wyniósł ponownie 43 s.



Rys. 4. Wyniki czyszczenia kanałów chłodzących (o jednakowej średnicy) formy dwugniazdowej: a) wypraska i schemat kanałów chłodzących formy, b) analiza termowizyjna skuteczności chłodzenia wyprasek, c) wykres wartości przepływu cieczy chłodzącej przed czyszczeniem i po sześciu godzinach czyszczenia

Podsumowanie

Koszty wytwarzania elementów z tworzyw sztucznych są szacowane w dużym stopniu w oparciu o czas wytwarzania części. Dlatego współcześnie, gdy od firm oczekuje się nieustannego zwiększania wydajności i redukcji kosztów, utrzymanie wysokiej wydajności chłodzenia przez cały okres życia formy może się okazać czynnikiem pozwalającym na obniżenie kosztów związanych z serwisowaniem formy czy też spadkiem jej wydajności ze względu na długi czas chłodzenia.

Rozwiązaniem problemu jest skuteczne usuwanie zanieczyszczeń z kanałów chłodzących form wtryskowych. Służy do tego system diagnozowania i czyszczenia kanałów z wykorzystaniem innowacyjnego prototypowego urządzenia CoolingCare CA-6. Potwierdzeniem skuteczności jego działania może być fakt, że w ciągu kilku ostatnich miesięcy zdiagnozowano i wyczyszczono kilkadziesiąt różnych form wtryskowych, mających od czterech do 10 kanałów chłodzących. W jednym cyklu

pracy można wyczyścić sześć kanałów – w przypadku większej liczby pozostałe kanały mogą być czyszczone w kolejnym cyklu.

LITERATURA

- Adamkiewicz A., Valishin A. „Zapobieganie osadzaniu kamienia kotłowego w okrętowych kotłach parowych metodą ultradźwiękową”. *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*, 3, 198 (2014).
- Lenartowicz-Klik M., Gajlewicz I. „Niezwykłe ważny proces”. *Plast-News*, 1 (2017): s. 33–36.
- Muszyński P., Mrozek K., Poszwa P. „Wybrane metody chłodzenia form wtryskowych”. *Mechanik*, 8–9 (2016): s. 996–1000.
- Marciniak A. „Testy i konserwacja systemów chłodzenia form”. *Plast-News*, 1 (2017): s. 56–57.
- „CoolingCare CA-6 – automatyczny system do czyszczenia i diagnostyki kanałów chłodzących w formach wtryskowych”. *Dokumentacja techniczna*. Fado Sp. z o.o., 2017.
- www.wittmann-group.com/pl_pl/technika-wtrysku/proces-technologiczny/technologie-variotherm-bfmold.html.
- www.chemia.odlew.agh.edu.pl/dydaktyka/Dokumenty/ChO_WO/Metalurgia/Twardosc_wody_teoria.pdf.