

Mgr inż. Grzegorz Dajczer

Streszczenie rozprawy doktorskiej

„Zintegrowany proces wykonywania rdzeni odlewniczych metodą dmuchową z zastosowaniem obniżonego ciśnienia odpowietrzenia rdzennicy”

Rozprawa pt. „Zintegrowany proces wykonywania rdzeni odlewniczych metodą dmuchową z zastosowaniem obniżonego ciśnienia odpowietrzenia rdzennicy”, zrealizowany na Wydziale Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie 2023.

Zamieszczony w pracy spis treści eksponuje szczegółowo zawartość rozprawy składającą się ogółem z 14 rozdziałów, wykazu literatury oraz spisu rysunków i tabel. Rozdziały od 1 do 3, zawierające kolejno: wstęp, wprowadzenie oraz charakterystykę ogólną stanu badań klasycznych odmian procesu dmuchowego w świetle danych literaturowych, mają charakter opracowania kompilacyjnego poprzedzonego wykazem ważniejszych oznaczeń i zakończonego podsumowaniem. Stanowią one nawiązanie do własnej części pracy, scharakteryzowanej przez uzasadnienie podjęcia rozprawy (rozdział 4), jej założeń i programu tematycznego (rozdział 5). Podstawy naukowe analizowanych klasycznych modeli dmuchowych omówiono w rozdziale 6 na przykładzie modelu przepływu strumieni powietrza w ujęciu klasycznym podanym przez PN Aksjonowa oraz omówienia innych tego rodzaju modeli tzw. rozszerzonych przez innych autorów, w tym modelu uwzględniającego rozdział strumieni powietrza w rozwiązaniu obejmującym hipotetycznie połączone zespoły klasycznej maszyny dmuchowej oraz jej części wyposażonej w systemy zmniejszania ciśnienia w przestrzeni technologicznej (rdzennicy), połączonej z autonomicznym systemem odciągu powietrza przez odpowietrzenia.

Przeprowadzono obliczenia numeryczne ciśnienia i parametrów przepływu powietrza w zespole strzelarki oraz rdzennicy dla wybranych warunków procesowych na przykładzie dla dwóch następujących granicznych stanów układu:

Graniczny stan układu oznaczony, jako Stan I.

Stan, w którym gradient ciśnienia powietrza w trójsegmentowej rdzennicy jest wywołany przez otwarcie zaworu przy zbiorniku połączonym z pompą próżniową i wyciąganie powietrza

przez otwory odpowietrzające usytuowane w górnych częściach obydwu bocznych sektorów rdzennicy. Sektor środkowy rdzennicy o pojemności zbliżonej do 1/3 jej pojemności całkowitej ma w tym przypadku nieaktywne odpowietrzenia górne i jest symetrycznie połączony z obu sąsiednimi sektorami bocznymi za pomocą prawego, bądź lewego kanału uzyskanego przez wycięcie w bocznych wkładkach prostokątnych otworów każdy o powierzchni $2,5 \text{ cm}^2$.

W początkowym stanie procesowym komora naboju jest napełniona masą rdzeniową i jest otwarta do otoczenia poprzez otwarty (lub odłączony) zawór strzałowy i służy, jako zbiornik masy połączony przez otwór strzałowy i sektor środkowy z bocznymi wnękami rdzennicy.

W rozważanym stanie I ciśnienie powietrza w rdzennicy i w komorze naboju jest równe wartości ciśnienia otoczenia przyjętego umownie $p_{ot} = 1000 \text{ hPa}$. Ciśnienie to jednocześnie jest górnym ciśnieniem powodującym przepływ zarówno powietrza, jak również czynnikiem wywołującym zasysanie części masy rdzeniowej z komory naboju do sektora środkowego, a dalej jej przenoszenia w strumieniu powietrza symetrycznie przez wycięcia w obu wkładkach do sektorów bocznych i kolejno w kierunku otwartych otworów odpowietrzających w górnej części (ewentualnie z boków) rdzennicy. Warunkiem takiego przebiegu ruchu powietrza i masy jest szczelne połączenie otworów odpowietrzających z komorą podciśnienia otaczającą całość lub wydzieloną część rdzennicy, w której uzyskiwane zagęszczenie masy bez wspomaganie podciśnieniowego jest mniejsze od wartości wymaganej, determinującej jakość danego odlewu.

Graniczny stan układu oznaczony, jako Stan II.

W rozważanym stanie oznaczonym II ciśnienie powietrza w rdzennicy i w komorze naboju jest wynikiem określonego bilansu przepływu powietrza, które zostaje uwidocznione na zapisie graficznym będącym wynikiem obliczeń numerycznych, omówionych w dalszej części rozprawy. Podobnie jak w wersji I, również w tym przypadku warunkiem skutecznej „współpracy” przebiegu ruchu powietrza z części nadciśnieniowej poprzez masę i otwory odpowietrzające do systemu jego odciągu jest szczelne połączenie otworów odpowietrzających z komorą podciśnienia, tworzącą przestrzeń analogiczną do kolektora otaczającego całość lub wydzieloną część rdzennicy.

Na podstawie przeprowadzonej analizy modeli procesu dmuchowego o ciśnieniu procesowym powyżej ciśnienia atmosferycznego (tzw. nadciśnieniowego) i modeli, w których ciśnienie w rdzennicy ma wartość poniżej tego ciśnienia (tzw. podciśnieniowego) zostały sprecyzowane następujące wnioski:

- W oparciu o powyższe stwierdzenia zasadnicza różnica dotyczy układu połączenia z siecią zbiorników czynnika pneumatycznego w instalacji i sposobu oraz kolejności ich uaktywniania procesowego, znamienne tym, że:
 - w modelu nadciśnieniowym (na przykład klasycznym Aksjonowa) przepływ powietrza o większym ciśnieniu następuje poprzez komory (zbiorniki) i przestrzeń technologiczną, w której zagęszczana jest masa przy naturalnym odpływie powietrza do otaczającej atmosfery,
 - w innym modelu nadciśnieniowym (na przykład J. Dańki) sieć pneumatyczna poprzedzająca przestrzeń technologiczną ma zwiększoną ilość komór, przez które przepływa powietrze docierające do przestrzeni technologicznej, w której zagęszczana jest masa. Podobnie jak wyżej, odpływ powietrza następuje do otaczającej atmosfery.

W obydwu modelach źródłem energii jest sprężone powietrze zawarte w zbiornikach zasilających połączonych z siecią sprężonego powietrza.

- W modelu podciśnieniowym przestrzeń technologiczna jest otwarta od strony otworu strzałowego oddzielona zaworami łączącymi kanały odpowietrzające z komorą podciśnieniową, do której jest odciągane powietrze. W modelu podciśnieniowym o charakterze przepływowym strumienia odciąganego powietrza przestrzeń technologiczna znajduje się w komorze podciśnienia, która otacza rdzennicę lub jej część wyposażoną w system odpowietrzenia. Różnica ciśnienia we wnętrzu oraz w komorze podciśnienia wytwarzając określony gradient ciśnienia w warstwach masy jest źródłem energii potrzebnej na przemieszczanie się warstw masy w badanej przestrzeni technologicznej. Zasobem energii jest ilość powietrza, zarówno tego, które przemieszczając się w układzie: komora strzałowa (zbiornik) masy rdzeniowej - wnęka rdzennicy, jest w stanie stworzyć dwufazową mieszaninę masa-powietrze i wykonać pracę przemieszczania fazy stałej wraz z fazą gazową, w wyniku ekspansji zassanego i/lub wprowadzonego powietrza płynącego w stronę o niższym ciśnieniu, a więc do układu odciągu powietrza zakończonego pompą powietrzną.

W rozprawie wykazano, że koncepcja zintegrowanego procesu dmuchowego zaproponowana przez Doktoranta generuje nowe rozwiązanie systemu dmuchowego, które rozszerza rzeczywisty zakres stosowanego przedziału ciśnienia roboczego, tradycyjnie większego od ciśnienia otoczenia o tę część ciśnienia, którą można usunąć z rdzennicy przez jej połączenie z zespołem pompy odsysającej. W zamieszczonym opisie badania obejmuje zespół prac wstępnych, w tym projekt uzupełnienia istniejącego stanowiska badawczego

o instalację uzyskiwania zmniejszonego ciśnienia (podciśnienia) w miejscach rozłożenia w rdzennicy otworów odpowietrzających, co powoduje zwiększenie skuteczności odpowietrzenia całej lub fragmentu wnęki rdzennicy, stwarzając szerokie możliwości kształtowania wartości i usytuowania aktywnych stref o zmniejszonym ciśnieniu.

Na podstawie rozwiniętej koncepcji projektowej zmiany istniejącego stanowiska laboratoryjnego (Wydział Odlewnictwa AGH), uwzględniono działania modernizacyjne z dostosowaniem do opcjonalnej realizacji badania procesu z nadciśnieniem, podciśnieniem i/lub procesu zintegrowanego. Część badawcza pracy obejmuje sformułowanie celu i tez naukowych pracy (rozdział 9.1 i 9.2), opisu metodyki badań - na istniejącym oraz na zmodernizowanym stanowisku badawczym (rozdział 10), którego projekt obejmował także konstrukcję rdzennicy (rozdział 10.2), instalacji pneumatycznej, a także układu pomiarowego i rejestrującego (rozdział 10.2- 10.5).

W rozprawie wyartykułowane zostały następujące cele badawcze i użytkowe:

1. Zintegrowanie dwóch zakresów procesu dmuchowego, czyli zwyczajowo stosowanego nadciśnienia występującego w układzie maszyny dmuchowej oraz podciśnienia wywołanego kontrolowanym strefowym odciąganiem powietrza z przestrzeni technologicznej w celu poprawy, jakości wykonywania rdzeni o rozbudowanej geometrii kształtu.
2. Uzyskanie możliwości wpływu na właściwości quasi-hydrauliczne strumienia piaskowo-powietrznego i przebiegu procesu technologicznego za pomocą dołączenia do konstrukcji rdzennicy dodatkowego układu z instalacją podciśnienia w miejscach rozłożenia otworów odpowietrzających, a tym samym poszerzenie zakresu potencjalnego oddziaływania ciśnienia zarówno na zapełnianie, jak również na zagęszczenie masy z wykorzystaniem odpowiednio ukształtowanego gradientu ciśnienia we wnękach rdzennicy.
3. Poprawę jakości rdzeni wynikającą z możliwości zapełnienia pustek w trudnodostępnych sektorach rdzennicy i kontrolowanego zagęszczania oraz likwidację stref o niedostatecznej wytrzymałości.
4. Zwiększenie stopnia efektywnego wykorzystania gazowych czynników utwardzających w technologii mas chemoutwardzalnych.

Zostały sformułowane następujące tezy rozprawy:

1. System wstrzeliwania masy rdzeniowej w procesie dmuchowym polegającym na integracji efektów procesu dmuchowego w cyklu pracy urządzenia w zakresie powyżej ciśnienia atmosferycznego (nadciśnienia) z efektami procesowymi uzyskanymi przy ciśnieniu

mniejszym od ciśnienia otoczenia (podciśnienia), umożliwia zmianę quasi-hydraulicznych właściwości strumienia piaskowo-powietrznego i wpływa korzystnie na zwiększenie stopnia zagęszczenia w całej objętości rdzenia.

- II. W procesie dmuchowym kierunek i prędkość przemieszczania się strumienia piaskowo-powietrznego masy rdzeniowej wewnątrz rdzennicy są regulowane przez powstający gradient ciśnienia powietrza wywołany przede wszystkim przez rozmieszczenie i powierzchnię czynną odpowietrzników, a kontrolowane strefowe obniżenie ciśnienia w rdzennicy przyczynia się do stabilnego przebiegu procesu dmuchowego w miarę zapewnienia rdzennicy i ograniczenia negatywnego efektu zatykania odpowietrzników przez narastające warstwy zagęszczanej masy, co występuje w tradycyjnych rozwiązaniach.

Ogólna charakterystyka części badawczej

Zasadnicza część badawcza rozprawy zawiera następujące etapy scharakteryzowane w rozdziałach, w których przedstawiono osiągnięte wyniki z badań i wnioski z poszczególnych etapów badań:

Badania wstępne – dotyczące praktycznego sprawdzenia poprawności działania stanowiska z instalacją nadciśnienia. W wyniku otrzymano charakterystyki przedstawiające zależność ciśnienia w komorze naboju i komorze rdzennicy w warunkach dobranego odpowietrzenia i bez zastosowanej masy. Drugi aspekt badań wstępnych dotyczył wstrzeliwania masy testowej do nowej rdzennicy w procesie nadciśnieniowym (bieg roboczy).

Badania technologiczne właściwe – realizowane w nadciśnieniowym i podciśnieniowym procesie dmuchowym. Dokonano analizy uzyskanych wyników badań z masą, dla których sporządzono charakterystyki w układzie: gęstość pozorną w funkcji średnicy otworu strzałowego i czasu trwania procesu. Efekt zapewnienia rdzennicy określano współczynnikiem zapelnialności wg metody Benischa i Knauffa.

W procesie zintegrowanym badania przeprowadzono bazując na założeniach i wynikach z badań wstępnych procesu nadciśnienia i podciśnienia. Próby zapewnienia prowadzono z wykorzystaniem rdzennicy klasycznej oraz rdzennicy z przegrodami dzielącymi wnękę na trzy sektory, przy wdmuchiowaniu masy przez jeden otwór umieszczony w pionowej osi symetrii wnęki i rozprowadzaniu masy do sektorów bocznych przez prostokątne otwory umieszczone w dolnych częściach przegród rozdzielających, co stwarzało szczególne utrudnienie przy zasilaniu tych sektorów. Metodyka badania gęstości pozornej polegała na sondowaniu masy próbnikiem cylindrycznym, określaniu masy metodą wagową

i wyznaczaniem wartości współczynnikiem zapełnialności. Proces zintegrowany daje możliwość równomiernego upakowania osnowy ziaren w całej objętości, szczególnie wówczas, gdy wywołany przepływ powietrza odbywa się do otworów odpowietrzających usytuowanych na wprost otworów dmuchowych dostarczających masę. W tym przypadku równomierność rozłożenia przyczynia się do kontrolowanej zmiany przepuszczalności w masie, co umożliwia tworzenie przestrzeni i kanałów wolnych do przepływu medium gazowego. W zależności od zastosowanego medium można wnioskować, że warunki przedmuchiwania jak i odprowadzania zużytego czynnika są wówczas sprzyjające do bezpiecznego prowadzenia procesu.

Wnioski

1. Uniwersalność stanowiska badawczego umożliwiła prowadzenie badań w układzie zintegrowanym, a także oddzielnie w systemie z nadciśnieniem i podciśnieniem.
2. Projekt konstrukcyjny nowej rdzennicy do badań spełnił swoją funkcjonalność dla procesu z nadciśnieniem i o rozbudowane elementy stanowiące istotę procesu z podciśnieniem i procesu zintegrowanego.
3. Nowa konstrukcja rdzennicy układu z instalacją podciśnienia w miejscach rozłożenia otworów odpowietrzających powoduje zwiększenie skuteczności odpowietrzenia komory technologicznej. Otrzymane wyniki wskazały na poprawne działanie odpowietrzników i dały podstawę do uzasadnienia kierunkowego przepływu strumienia piaskowo-powietrznego.
4. Opracowany w trakcie realizacji pracy zintegrowany proces wstrzeliwania wpływa na zwiększenie zagęszczenia oraz bardziej równomierny rozkład gęstości pozornej w objętości rdzenia w stosunku do procesu klasycznego. Bardziej uporządkowana struktura wpływa na zwiększenie przepuszczalności rdzeni.
5. Zintegrowanie dwóch procesów, naturalnego nadciśnienia występującego w układzie maszyny dmuchowej oraz podciśnienia wywołanego kontrolowanym strefowym odciąganiem powietrza usprawnia technologię wykonywania rdzeni o rozbudowanej geometrii kształtu, które jak wykazano w rozprawie umożliwia poszerzenie zakresu potencjalnego oddziaływania ciśnienia zarówno na zapełnianie jak

również na zagęszczenie masy z wykorzystaniem odpowiednio ukształtowanego gradientu ciśnienia we wnękach rdzennicy.

6. Opracowana metodyka badawcza, konstrukcja rdzennicy i zmodernizowane stanowisko wraz z właściwym układem pomiarowo rejestrującym zmiany ciśnienia w komorze naboju i rdzennicy, wskazują na możliwość zaprojektowania stanowiska półprzemysłowego do prób technologicznych związanych z wprowadzeniem nowoczesnych technologii mas rdzeniowych i następnie jego przemodelowania do warunków przemysłowych.