

Harald KANIA

Institut Metallurgii Żelaza

Jacek PIEPRZYCA

Politechnika Śląska w Katowicach

Izabela MAJCHROWICZ

Institut Ceramiki i Materiałów Ogniotrwałych

REGULACJA PRZEPIYU STRUMIENIA CIEKŁEJ STALI W KADZI POŚREDNIEJ URZĄDZENIA COS ZA POMOCĄ INHIBITORÓW TURBULENCJI

W artykule przedstawiono wyniki badań sposobu regulacji przepływu i mieszania się ciekłej stali w kadzi pośredniej przy użyciu różnej budowy inhibitorów turbulencji. Stanowią one ceramiczne elementy konstrukcyjne, montowane w dnie kadzi pośredniej i w osi wpływającego do niej strumienia ciekłej stali. Podstawowym zadaniem inhibitorów turbulencji jest regulacja wpływającego z dużą energią strumienia ciekłej stali z kadzi głównej do kadzi pośredniej i właściwe w niej ukształtowanie poszczególnych stref przepływu. Wymagany stosunek strefy przepływu turbulentnego do strefy przepływu łokowego, przy minimalizacji objętości strefy przepływów martwych zapewnia optymalną pracę kadzi pośredniej. Ma to szczególne znaczenie w przypadku stosowania kadzi pośrednich o nie parzystej liczbie wylewów. Badania przeprowadzono metodami modelowania fizycznego z wykorzystaniem zimnego modelu wodnego urządzenia COS. Wykorzystano w nich specjalnie wykonane inhibitory turbulencji w celu określenia optymalnej ich konstrukcji dla badanej kadzi pośredniej.

Słowa kluczowe: ciągle odlewanie stali, inhibitory turbulencji, modelowanie fizyczne

CONTROL OF LIQUID STEEL FLOW IN CCM TUNDISH BY MEANS OF TURBULENCE INHIBITORS

The article presents results of tests of the manner of controlling flow and mixing of liquid steel in tundish using turbulence inhibitors of various structure. These constitute ceramic structural components fixed in the bottom of tundish and in the axis of liquid steel flux flowing into tundish. The fundamental task of turbulence inhibitors is to control liquid steel flux flowing in from main ladle into tundish with high energy, and proper formation of flow zones therein. Required relation of turbulent flow zone to piston flow zone, with minimization of the volume of dead flow zone ensures optimum operations of tundish. This is particularly meaningful in case of use of tundish with odd number of outlet nozzles. Tests were executed by means of physical modelling using cold model of water continuous casting machine. Specially prepared turbulence inhibitors were used during tests, to define their optimum structure for the examined tundish.

Keywords: continuous casting of steel, turbulence inhibitors, physical modelling

1. WPROWADZENIE

Ważnym elementem charakteryzującym poprawną pracę kadzi pośredniej w trakcie procesu COS jest sposób przepływu i mieszania się w niej ciekłej stali. Główne zadania stawiane kadziom pośrednim dotyczą równomiernego rozdzielenia ciekłej stali do poszczególnych wylewów, właściwej jej homogenizacji zarówno pod względem temperaturowym jak i chemicznym oraz zapewnienie wymaganego przebiegu procesu mikrorafinacji na drodze pochłaniania wtrąceń niemetalicznych na powierzchni podziału faz ciekła stal – żużel rafinacyjny. Spełnienie tych zadań, osiąga się między innymi,

poprzez uzyskanie w kadzi pośredniej wymaganych warunków hydrodynamicznych przepływu ciekłej stali. Charakteryzują się one z punktu widzenia hydrodynamiki występowaniem trzech stref przepływu. Strefa przepływu turbulentnego obejmuje obszar wlewowy w kadzi pośredniej i odpowiedzialna jest za właściwy przebieg homogenizacji stali. Następnie kształtuje się strefa przepływu łokowego w której następuje laminarny przepływ stali do poszczególnych wylewów. Od objętości tej strefy zależy przebieg procesu wypływności wtrąceń niemetalicznych i pochłanianie ich przez zasypkę rafinacyjną utworzoną na powierzchni lustra ciekłej stali. Trzecią niepożądaną strefą przepływu

w kadzi pośredniej jest strefa przepływów martwych. Charakteryzuje się ona brakiem mieszania ciekłej stali, a zbyt duży obszar jej występowania w przestrzeni roboczej kadzi pośredniej jest przyczyną zakłóceń procesu. Właściwe proporcje występowania poszczególnych stref przepływu ciekłej stali, oraz minimalizacja strefy przepływów martwych w przestrzeni roboczej kadzi pośredniej, odgrywają bardzo ważną rolę dla właściwej ich pracy. Zwłaszcza w przypadku odlewania stali na urządzeniach COS wyposażonych w niesymetryczne kadzie pośrednie stanowi to istotny problem. Niesymetryczne kadzie pośrednie stanowią szczególną grupę tych elementów konstrukcyjnych urządzenia COS. Charakteryzują się najczęściej nieparzystą liczbą wylewów i ze względu na taką konstrukcję nierównomiernym ich oddaleniem od strefy wlewowej kadzi pośredniej. Skutkuje to występowaniem znacznego opóźnienia czasu dotarcia ciekłej stali do skrajnego wylewu i występowania w jego rejonie obszernej strefy martwej.

Problem ten występował w jednej z krajowych hut. Urządzenie COS tam pracujące wyposażone jest w trójżyłową kadhę pośrednią której schemat przedstawiono na rys. 1.

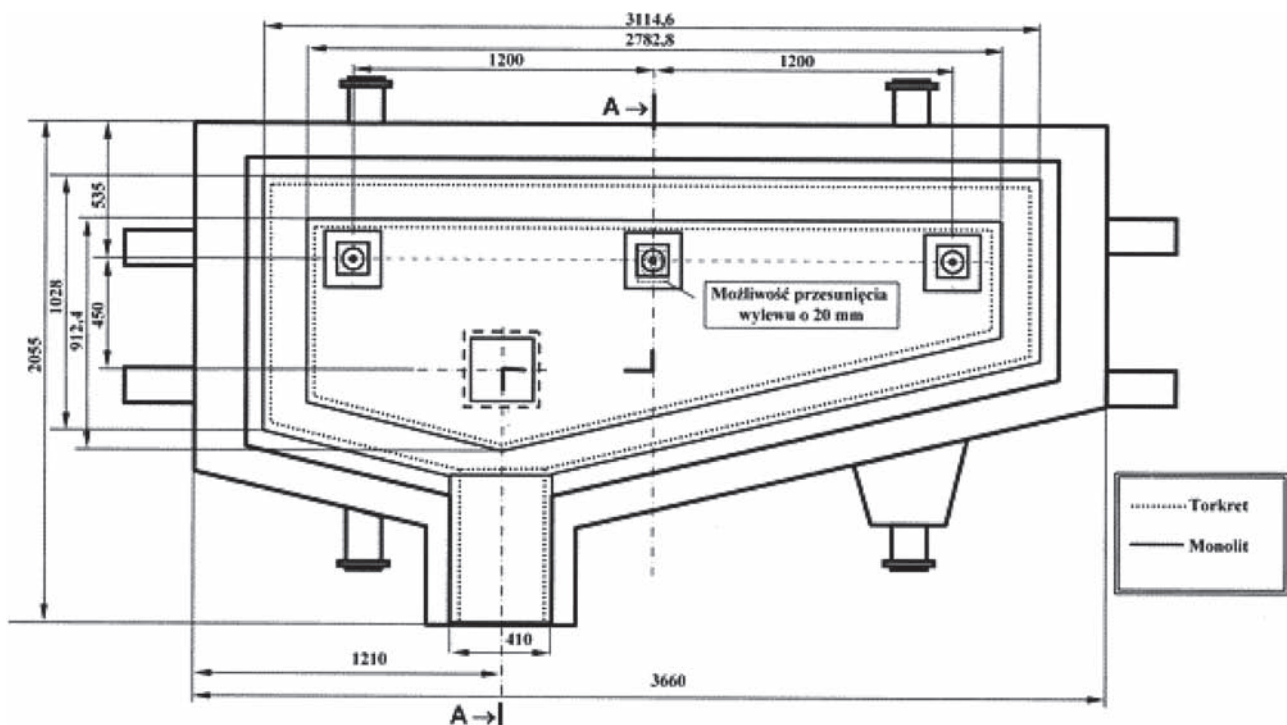
Praktyka przemysłowa wykazała nierównomierność pracy kadzi pośredniej polegającą na problemach z bezawaryjnym odlewaniem wlewków w żyłę nr 1. Zagadnienie to opisano szczegółowo w pracy [1]. Stwierdzono, że powodem występujących problemów mogą być niewłaściwe warunki hydrodynamiczne przepływu ciekłej stali w przestrzeni roboczej badanej kadzi pośredniej. Fakt ten stanowił przesłankę do dalszych badań realizowanych w pracy [2] polegających na określeniu warunków hydrodynamicznych w kadzi pośredniej oraz na ich optymalizacji. Optymalizację tych warunków można uzyskać stosując dodatkową zabudowę kadzi pośredniej w postaci inhibitora turbulencji.

W badaniach posłużono się metodami modelowania fizycznego.

Prace badawcze prowadzono w ramach Projektu Rozwojowego (N R07 0021 06) finansowanego przez NCBiR, którego wykonawcami byli pracownicy Instytutu Metalurgii Żelaza i Instytutu Ceramiki i Materiałów Ogniotrwałych z Gliwic oraz Politechniki Śląskiej Katowice.

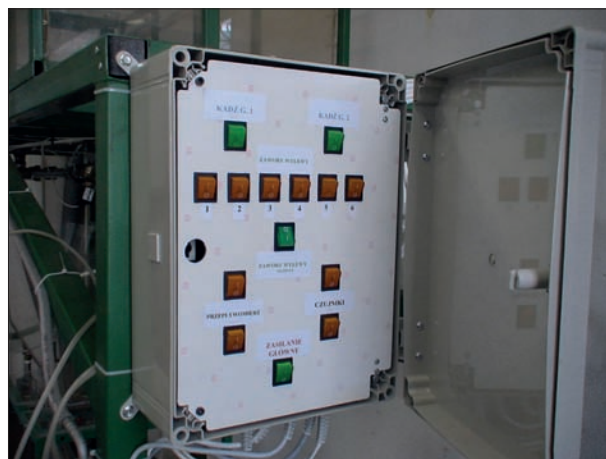
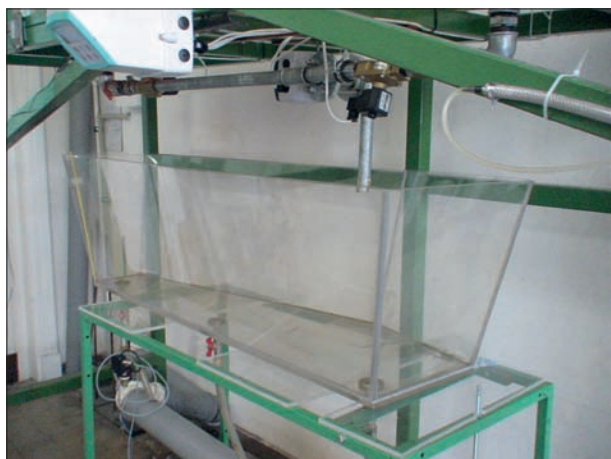
2. OPIS MODELU FIZYCZNEGO URZĄDZENIA COS

Prowadzenie badań zjawisk hydrodynamicznych zachodzących w kadzi pośredniej urządzenia COS w warunkach przemysłowych jest trudne, drogie, niebezpieczne, a często wręcz niemożliwe. Postanowiono więc dla rozwiązania podjętego problemu posłużyć się metodami modelowania. Było to powodem budowy modelu fizycznego badanego urządzenia COS. Model wykonano, zgodnie z zasadami teorii podobieństwa, w oparciu o wieloletnie doświadczenia dotyczące budowy tego typu stanowisk laboratoryjnych, zarówno własne jak i uzyskane dzięki współpracy z innymi ośrodkami badawczymi [3–7]. Zaprojektowany i zbudowany model fizyczny, ze względu na jego wielocłonową konstrukcję ma charakter zimnego modelu segmentowego w którym jako ciecz modelowa wykorzystana jest woda. W tego typu modelach, zasady podobieństwa [8], zarówno geometrycznego jak i hydrodynamicznego spełnione są jedynie w tzw. *segmentie głównym* w którym zachodzą badane zjawiska. Pozostałe segmenty pełnią rolę elementów pomocniczych. W przypadku opisywanego modelu segmentem głównym jest model kadzi pośredniej. Pod pojęciem segmentów pomocniczych rozumie się te elementy modelu w których nie zachodzą badane zjawiska lecz ich właściwe działanie ma wpływ na wa-



Rys. 1. Schemat badanej trójżyłowej kadzi pośredniej [1]

Fig. 1. Diagram of the examined three-strand tundish [1]



Rys. 2. Widok wodnego modelu fizycznego kadzi pośredniej oraz panelu sterowania

Fig. 2. View of water physical model of tundish as well as control panel

runki przebiegu eksperymentu w segmencie głównym. Są to modele kadzi głównych, rury osłonowej, wylewów zanurzeniowych oraz instalacja hydrauliczna modelu łącząca segment główny z pomocniczymi. Instalacja ta ma szczególne znaczenie, gdyż umożliwia precyzyjne sterowanie strumieniem przepływu cieczy modelowej w segmencie głównym. Widok wykonanego modelu fizycznego kadzi pośredniej oraz panelu sterowania przedstawia rys. 2.


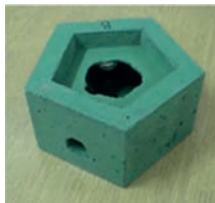





Ze względu na duże gabaryty przemysłowego urządzenia COS w trakcie projektowania modelu fizycznego przyjęto skalę geometryczną pomniejszającą $S_L = 1 : 3$.

Do określenia kryteriów podobieństwa zastosowano metodę analizy wymiarowej. Na tej podstawie wyznaczono, jako główne kryterium podobieństwa charakteryzujące warunki hydrodynamiczne w badanej kadzi pośredniej, kryterium Froude'a (Fr). Jako znacznik umożliwiający wizualizację zjawisk hydrodynamicznych zachodzących w modelu kadzi pośredniej zastosowano wodny roztwór $KMnO_4$.

Ważną cechą funkcjonalną zbudowanego modelu fizycznego urządzenia COS jest możliwość prowadzenia badań w seriach, przy zachowaniu powtarzalności warunków dynamicznych, dla każdego eksperymentu

Tablica 1. Zastosowane inhibitory turbulencji oraz oznaczenie wariantów eksperymentów

Table 1. Use of turbulence inhibitors and determination/markings of the versions of experiments

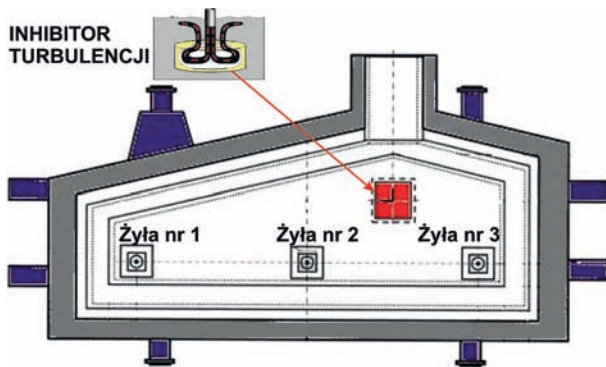
Wariant	Nazwa	Widok	Wariant	Nazwa	Widok
A	Bez inhibitora turbulencji	-	B	dwa otwory przelewowe, bez kłnierza	
C	dwa otwory przelewowe, z kłnierzem		D	dwa otwory przelewowe, z kłnierzem i cokołem podstrumieniowym	
E	dwa otwory przelewowe, z kłnierzem szerokim		F	jeden otwór przelewowy, bez kłnierza	
G	jeden otwór przelewowy, z kłnierzem i cokołem podstrumieniowym		H	dwa otwory przelewowe o różnej średnicy, z kłnierzem i cokołem podstrumieniowym	

w serii. Osiągnięto to dzięki zastosowaniu par zaworów na poszczególnych elementach konstrukcyjnych instalacji hydraulicznej modelu. Układ działa w ten sposób, że jeden zawór pełni rolę zaworu regulacyjnego, za pomocą którego ustala się wymagany przepływ cieczy modelowej, drugi natomiast jest zaworem odcinającym sterowanym zdalnie. Przed przystąpieniem do eksperymentu nastawiane są odpowiednie przepływy na zaworach regulacyjnych, a w czasie doświadczenia korzysta się z zaworów odcinających. Gwarantuje to takie same warunki hydrodynamiczne w całej serii eksperymentów. Model wyposażony jest w aparaturę kontrolno pomiarową realizującą przepływ sygnałów zarówno z jak i do modelu. Pozwala to na łatwą obsługę modelu oraz na rejestrację i archiwizację uzyskiwanych danych w czasie rzeczywistym.

Dla realizacji opisywanego zadania specjalnie zaprojektowano i wykonano modele inhibitorów turbulencji o różnej konstrukcji (tabl. 1). Stanowią one integralną pod względem warunków podobieństwa część modelu fizycznego kadzi pośredniej, a ich konstrukcja jest dedykowana dla konkretnych warunków pracy badanej kadzi pośredniej.

3. BADANIA MODELOWE

Badania modelowe przeprowadzono w seriach dla poszczególnych wariantów konstrukcyjnych inhibitorów turbulencji. Lokalizację inhibitorów turbulencji w przestrzeni roboczej badanej kadzi pośredniej przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Miejsce usytuowania inhibitora turbulencji w dnie asymetrycznej kadzi pośredniej podczas prowadzonych badań modelowych (widok z góry)

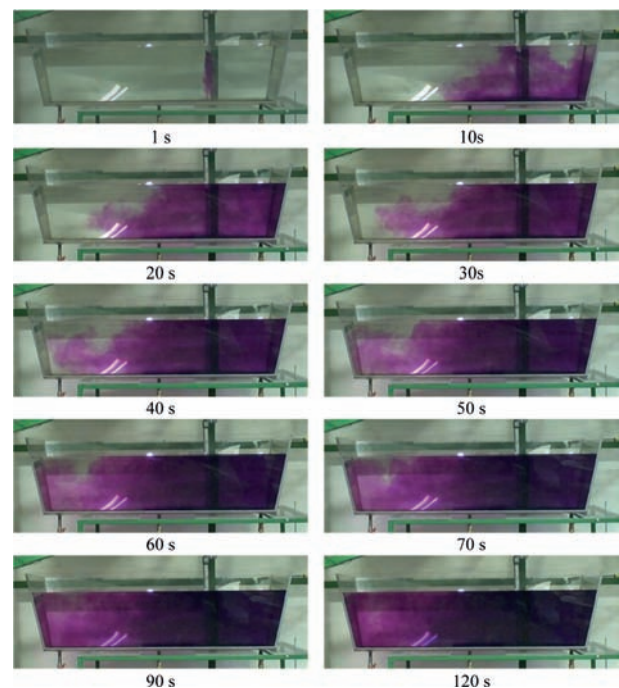
Fig. 3. Turbulence inhibitor location in the bottom of tundish during model tests (view from the top)

Eksperymenty przeprowadzono według następującego programu badań. Ciecz modelową (wodę) wprowadza się do modelu kadzi głównej. Po jej napełnieniu, kierowana ona jest do modelu kadzi pośredniej. Model kadzi pośredniej wypełniany jest do momentu osiągnięcia wymaganej wysokości lustra cieczy modelowej. W założonym programie badań jest to poziom 300 mm. Odpowiada on poziomowi lustra stali w rzeczywistym urządzeniu po zastosowaniu skali geometrycznej. Podczas badań stały poziom lustra utrzymuje się dzięki sterowaniu ilością cieczy doprowadzanej i wylewanej z modelu kadzi pośredniej. Regulację tego przepływu uzyskuje się dzięki parom zaworów, które scharakteryzowano w opisie modelu fizycznego urządzenia COS.

W momencie osiągnięcia założonego poziomu cieczy modelowej i ustabilizowaniu przepływu (wartość strumienia przepływu cieczy modelowej kontrolowana jest za pomocą precyzyjnego przepływomierza elektromagnetycznego, niezakłócającego strumienia cieczy modelowej) następuje wprowadzenie znacznika w postaci wodnego roztworu KMnO_4 . Znacznik wprowadzany jest w ten sposób, by warunki hydrodynamiczne panujące w modelu kadzi pośredniej podczas trwania eksperymentu były niezaburzone. Umożliwia on zaobserwowanie charakteru przepływu cieczy modelowej w modelu kadzi pośredniej i określenie wielkości poszczególnych stref przepływu. Cały przebieg eksperymentu rejestrowany jest za pomocą kamer wideo zlokalizowanych w różnych płaszczyznach modelu fizycznego kadzi pośredniej.

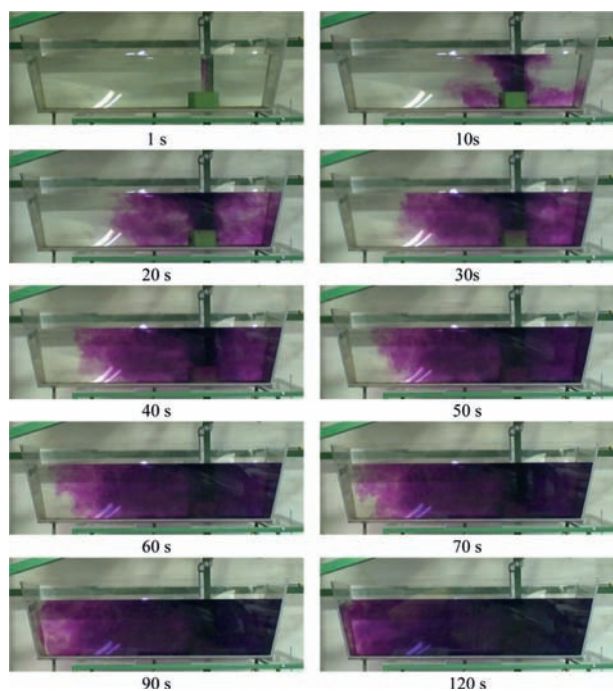
4. WYNIKI BADAŃ MODELOWYCH

Materiał filmowy będący rezultatem badań modelowych do dalszej analizy został przyspieszony 4-krotnie, ze względu na powolny przebieg procesu przepływu cieczy modelowej przez model kadzi pośredniej. Umożliwiło to łatwiejsze zaobserwowanie sposobu powstawania i lokalizacji w przestrzeni roboczej poszczególnych stref przepływu (przepływ turbulentny, przepływ tłokowy i strefy martwe). W celu przedstawienia w artykule przykładowych wyników badań również, stosując specjalistyczne oprogramowanie komputerowe wykonano pobranie klatek filmowych w postaci zdjęć w jednakowych odstępach czasu dla poszczególnych wariantów eksperymentu. Na rys. 4, 5 i 6 przedstawiono przykłady wyników badań modelowych przeprowadzonych na modelu fizycznym trzyżyłowej korytowej kadzi pośredniej.



Rys. 4. Przykład rozchodu znacznika w modelu kadzi pośredniej (wariant A) w czasie

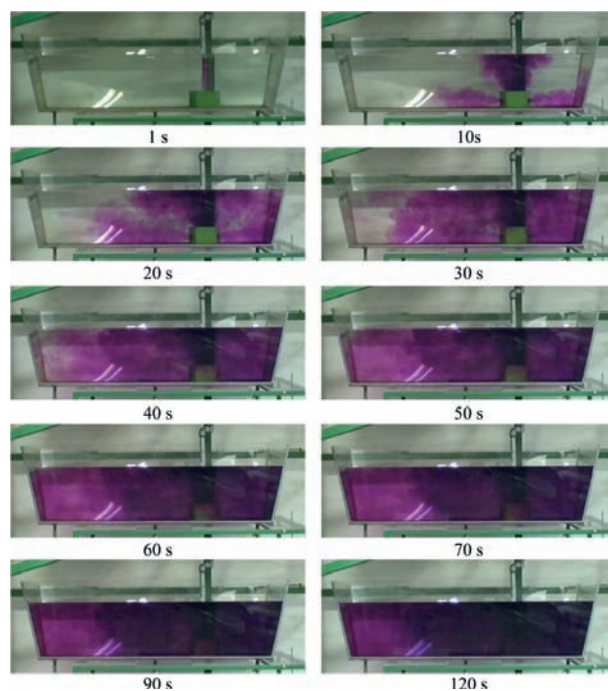
Fig. 4. Example of marker expenditure in the model of tundish in time (version A)



Rys. 5. Przykład rozchodu znacznika w modelu kadzi pośredniej (*variant B*) w czasie

Fig. 5. Example of marker expenditure in the model of tundish in time (*version B*)

Przeprowadzone badania modelowe pozwoliły na porównanie skuteczności działania poszczególnych wariantów konstrukcyjnych inhibitorów turbulencji. Punktem odniesienia był wariant A w którym przebadano dotychczasowy stan kadzi pośredniej (dotychczasowo stosowana praktyka przemysłowa). Wyniki tego wariantu w postaci zdjęć przedstawiono na rys. 4. Stwierdzono niekorzystne warunki hydrodynamiczne. Zaobserwowano zbyt małą objętość strefy mieszania turbulentnego co nie sprzyja dostatecznej homogenizacji stali w kadzi pośredniej oraz bardzo powolny przepływ tłokowy w kierunku żyły nr 1. Mała energia tego strumienia powoduje powstawanie w tym rejonie bardzo obszernej strefy martwej. Potwierdza to poczynione na wstępie pracy założenie, że taki charakter przepływu ciekłej stali jest powodem powstawania problemów dotyczących bezawaryjnego odlewania stali w żyłę nr 1. Przystępując do badań wariantu B spodziewano się znacznej poprawy warunków hydrodynamicznych w przestrzeni roboczej kadzi pośredniej. Wariant ten jednak nie spełnił oczekiwań. Wyniki badań tego wariantu przedstawiono na rys. 5. Zastosowanie inhibitora turbulencji praktycznie nie zmieniło niekorzystnych warunków hydrodynamicznych w badanej kadzi pośredniej. Czas dotarcia znacznika do wylewu nr 1 nawet się wydłużył. Podobne wnioski wyciągnięto obserwując poszczególne strefy przepływu, które w zasadzie pozostały niezmienione w stosunku do wariantu A. Dalsze badania pozwoliły na uzyskanie rozwiązania konstrukcyjnego inhibitora turbulencji, który spełnia oczekiwane warunki zmiany niekorzystnych warunków hydrodynamicznych w przestrzeni roboczej badanej kadzi pośredniej. W wariantcie C (rys. 6) zaobserwowano utworzenie się dostatecznej objętości stref przepływu turbulentnego i przepływu tłokowego co sprzyja dostatecznej homogenizacji ciekłej stali oraz dobremu pochłanianiu wtrąceń niemetalicznych przez żużel



Rys. 6. Przykład rozchodu znacznika w modelu kadzi pośredniej (*variant C*) w czasie

Fig. 6. Example of marker expenditure in the model of tundish in time (*version C*)

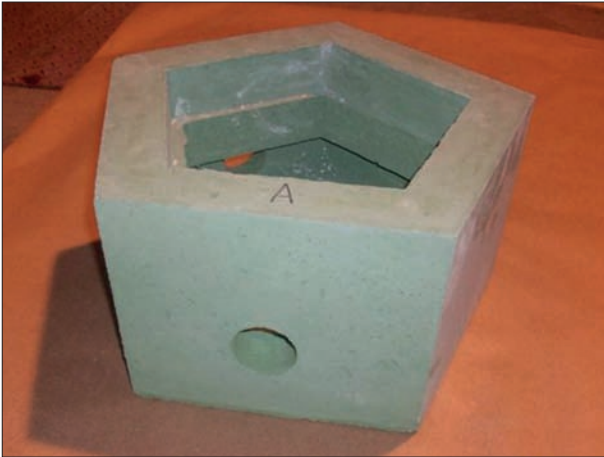
refinacyjny. Znacznemu zmniejszeniu uległa również strefa martwa, w zasadzie obejmując niewielki obszar w górnej strefie nad wylewem nr 1. Badania pozostałych wariantów konstrukcji inhibitorów turbulencji dały podobne wyniki jak w wariantcie C.

Na podstawie uzyskanych rezultatów badań modelowych przeprowadzonych na modelu trzyżyłowej kadzi pośredniej wyposażonej w różnego rodzaju regulatory przepływu można stwierdzić, że stosowanie inhibitorów turbulencji w przestrzeni roboczej przemysłowych kadzi pośrednich, bez przeprowadzenia badań modelowych jest niecelowe. Może powodować nawet znaczne straty. Skuteczność stosowania inhibitorów turbulencji zależy od ich konstrukcji, która musi być ściśle dopasowana do konkretnych warunków eksploatacyjnych urządzenia COS. Dotyczy to zarówno parametrów geometrycznych przestrzeni roboczej kadzi pośredniej jak i specyfiki stalowni w której pracuje konkretne urządzenie COS.

W związku z tym do dalszych badań w warunkach przemysłowych jako optymalne rozwiązanie przyjęto warianty zabudowy C i H. Te rozwiązania generują najlepsze warunki charakterystyczne dla prawidłowo działającej kadzi pośredniej tzn. odpowiednią, zarówno pod względem wielkości, jak i hydrodynamiki, strefę mieszania turbulentnego zapewniającą właściwą homogenizację stali zarówno pod względem chemicznym jak i temperaturowym w której ograniczone jest niebezpieczeństwo wtórnego zanieczyszczenia stali wtrąceniami niemetalicznymi na granicy podziału faz stal – żużel oraz właściwą strefą przepływu tłokowego zapewniającą równomierne zasilanie poszczególnych krystalizatorów urządzenia COS i pochłanianie wtrąceń niemetalicznych przez żużel. W przypadku niesymetrycznych kadzi pośrednich ten ostatni parametr jest szczególnie trudny do spełnienia.

5. WYKONANIE CERAMICZNEGO INHIBITORA TURBULENCJI DO PRÓB PRZEMYSŁOWYCH

W oparciu o wyniki badań modelowania fizycznego do testów przemysłowych wyprodukowano inhibitory turbulencji z betonu ogniotrwałego niskocementowego na bazie boksytu i korundu, z dodatkiem tlenku chromu – rys. 7.



Rys. 7. Widok inhibitora turbulencji przygotowanego do prób przemysłowych

Fig. 7. View of turbulence inhibitor prepared for industrial tests

Proces produkcji polegał na wymieszaniu przez ok. 1 minutę składników masy betonowej na sucho w mieszadło grabkowym i formowaniu ręcznym w formie drewnianej na stole wibracyjnym. Po zaformowaniu, kształtkę pielęgnowano w czasie 48 godzin w stałej temperaturze (20°C) i wilgotności (w worku foliowym). Po tym czasie, kształtki wyjęto z form, suszono przez 24 godziny w temperaturze 110°C i wygrzewano przez 16 godzin w temperaturze 600°C. Uzyskany beton oznaczono symbolem BBN-150 Cr/EA. Właściwości fizyczne ww. materiału przedstawiono w tabl. 2.

Testy przemysłowe próbnej partii inhibitorów turbulencji, zostaną wykonane w terminie określonym przez hutę.

Tablica 2. Własności betonu BBN-150 Cr/EA

Table 2. Properties of concrete BBN-150 Cr/EA

Parametr	Wartość	Jednostka
Gęstość pozorną – po wygrzaniu w 500°C / 2h – po wypaleniu w 1500°C / 5h	3,19 3,25	g/cm ³
Porowatość otwarta – po wygrzaniu w 500°C / 2h – po wypaleniu w 1500°C / 5h	12,9 14,1	%
Skurczliwość liniowa wypalania	-0,16	%
Wytrzymałość na ściskanie – po wygrzaniu w 500°C / 2h – po wypaleniu w 1500°C / 5h	85,7 122,8	MPa
Odporność na wstrząsy cieplne, po wypaleniu (850°C/woda)	> 30	liczba cykli
Ścieralność, po wypaleniu – w temperaturze pokojowej – w temperaturze 1000°C	0,08 0,04	g/cm ²

6. WNIOSKI

Przeprowadzone badania modelowe pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- hydrodynamiczny charakter przepływu ciekłej stali w dotychczas stosowanej technologii odlewania w urządzeniu COS wyposażonym w niesymetryczną kadź pośrednią jest niewłaściwy. Jest to powodem niestabilnej pracy kadzi pośredniej oraz wad uzyskiwanych wlewków ciągłych,
- zastosowanie w przestrzeni roboczej inhibitorów turbulencji zdecydowanie poprawia charakter przepływu i mieszania się ciekłej stali w kadzi pośredniej pod warunkiem właściwego doboru ich konstrukcji,
- optymalnymi konstrukcjami, z punktu widzenia kształtowania charakteru przepływu ciekłej stali przez badaną kadź pośrednią są regulatory przepływu zaproponowane w wariantach C i H,
- optymalnym materiałem do produkcji zaproponowanych wariantów konstrukcyjnych inhibitorów turbulencji jest opracowana specjalnie mieszanka betonu ogniotrwałego niskocementowego na bazie boksytu i korundu z dodatkiem tlenku chromu.

LITERATURA

1. Grabelus J., Mazur A., Wittchen W.: Sprawozdanie z pracy badawczej IMŻ, nr PC-00091/8/BS/2003, Gliwice, grudzień 2003, niepublikowane
2. Kania H. i współ.: „Zastosowanie symulacji fizycznej i numerycznej do opracowanie technologii ciągłego odlewania wlewków stalowych o przekroju kołowym na urządzeniu o małym promieniu łuku”, Projekt Rozwojowy nr N R07 0021 06 realizowany w latach 2009-2011
3. J. Pieprzyca, Z. Kudliński: Größenbestimmung der Übergangszone beim Strangguss mit der Modellierungsmethode., Stahl und Eisen, 124 (2004) 1, 51-53
4. M. Warzecha, T. Merder, H. Pfeifer, J. Pieprzyca: Investigation of Flow Characteristics in a Six-Strand CC Tundish Combining Plant Measurements, Physical and Mathematical Modeling, Steel Research International, vol. 81, 11, 2010, s. 987-993
5. Gryc, K., Michalek, K., Hudzieczek, Z., Tkadlečková, M.: Physical Modelling of Flow Pattern in 5-strand Asymmetrical Tundish with Baffles. METAL 2010, Conference proceedings. 2010, p. 42-46. ISBN 978-80-87294-17-8. Conference Information: 19th International Conference on Metallurgy and Materials, MAY 18-20, 2010, Rožnov pod Radhoštěm, Czech Republic. 978-80-87294-17-8
6. Michalek, K., Hudzieczek, Z., Gryc, K., Tkadlečková, M.: Study of homogenization and transfer processes in the casting ladle using physical modelling. METAL 2010, Conference proceedings. 2010, p. 42-46. ISBN 978-80-87294-17-8. Conference Information: 19th International Conference on Metallurgy and Materials, MAY 18-20, 2010, Rožnov pod Radhoštěm, Czech Republic. 978-80-87294-17-8
7. Kania H., Pieprzyca J.: Modelowanie fizyczne mieszania ciekłej stali gazami obojętymi w trój wylewowej kadzi pośredniej urządzenia COS., Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, tom 64, Nr 2, 2012, s. 8-13
8. B.Bulko, J. Kijac: Optimization of tundish equipment; Tundish Flow Model Tuning and Validation : Steady State and Tundish Flow Model Tuning and Validation : Steady State and Transient Casting Situations P. Väyrynen et al; STEELSIM 2007 – September 12-14 2007 – Graz/Seggau, Austria