

**Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie**
Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

ArcelorMittal Poland

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Hutniczego w Polsce
Zarząd Główny
Oddział Hutnictwa Żelaza i Stali w Krakowie

VI Międzynarodowa Konferencja
CIĄGŁE ODLEWANIE
STALI

Technologia
Modelowanie
Wady wlewków
Walcowanie wlewków

Materiały konferencyjne

Krynica, 4 ÷ 6 czerwca 2014

Wydawca:
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
www.agh.edu.pl

Redaktor Naczelny
Paweł Drożdż

Druk publikacji wykonano zgodnie z oryginałami dostarczonymi przez Autorów.

Projekt okładki i strony tytułowej:
Paweł Drożdż

Nakład: 100 egzemplarzy

Druk:

Drukarnia Cyfrowa DjaF
ul. Kmiotowicza 1/1, 30-092 Kraków
tel.: 12 636 32 40

AGH University of Science & Technology
Cracow, Poland
Faculty of Metals Engineering and Industrial Computer Science

ArcelorMittal Poland

Polish Association of Metallurgical Engineers & Technicians
Headquarters
Cracow Department

VI International Conference on
CONTINUOUS CASTING
OF STEEL

Technology
Modelling
Defects of CCS ingots
Rolling of CCS ingots

Conference Proceedings

Krynica, Poland
June 4 ÷ 6, 2014

KOMITET NAUKOWY

Honorowy Przewodniczący:

Kazimierz Mamro, prof. dr hab. inż. – AGH, Kraków

Przewodniczący:

Jan Falkus, dr hab. inż., prof. n. – AGH, Kraków

Członkowie:

Leszek Blacha, prof. dr hab. inż. – Politechnika Śląska
Włodzimierz Derda, dr hab. inż., prof. n. – Politechnika Częstochowska
Witold Dymek, mgr inż. – ArcelorMittal Poland
Marek Dziarmagowski, dr hab. inż., prof. n. – AGH, Kraków
Tomasz Dziwniel, mgr inż. – ArcelorMittal Poland
Jan Jowsa, prof. dr hab. inż. – Politechnika Częstochowska
Mirosław Karbowniczek, dr hab. inż., prof. n. – AGH, Kraków
Zdzisław Kudliński, prof. dr hab. inż. – Politechnika Śląska
Janusz Majta, prof. dr hab. inż. – AGH, Kraków
Grzegorz Maracha, mgr inż. – ArcelorMittal Poland

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący:

Janusz Kantor, mgr inż. – ArcelorMittal Poland

Członkowie:

Paweł Drożdż, dr inż. – AGH, Kraków
Tomasz Kargul, dr inż. – AGH, Kraków
Wiesław Mierzowski, mgr inż. – SITPH Oddział Kraków
Katarzyna Miłkowska-Piszczek, dr inż. – AGH, Kraków
Marek Samela, mgr inż. – SITPH Oddział Kraków

SPIS TREŚCI

<i>Wstęp</i>	9
Marcin Bielnicki, Jan Jowsa, Adam Cwudziński <i>Wielofazowy model numeryczny zachowania się ciekłej stali i żuźla w krystalizatorze COS</i>	11
Adam Cwudziński <i>Symulacja numeryczna i fizyczna zachowania się ciekłej stali w jedno-wylewowej kadzi pośredniej z podstrumieniowym regulatorem turbulencji</i>	13
Włodzimierz Derda, Przemysław Pardela <i>Zastosowanie stopów baru i wapnia w obróbce pozapiecowej wybranych gatunków stali odlewanych w sposób ciągły</i>	15
Nejc Drofelnik, Metod Marolt, Matjaž Knap, Jakob Lamut <i>Zależność pomiędzy ciekłą stalą i wyłożeniem ogniotrwałym w kadzi pośredniej</i>	17
Paweł Drożdż <i>Analiza stanu równowagi zasypek w krystalizatorze podczas ciągłego odlewania stali</i>	19
Marek Dziarmagowski, Krzysztof Konopka <i>Polska terminologia procesu ciągłego odlewania stali</i>	21
Jacek Gajda <i>Zapobieganie wyciekom na maszynie ciągłego odlewania stali poprzez wykrywanie przyklejeń naskórka w krystalizatorze</i>	27
Andrzej Gołdasz <i>Wpływ ekranowania na temperaturę szyn walcowanych w walcierce nawrotnej</i>	43
Tomasz Kargul, Ewa Wielgosz, Jan Falkus <i>Zastosowanie wyników badań analizy termicznej w obliczeniach numerycznych procesów odlewania stali</i>	45
Krzysztof Konopka, Katarzyna Miłkowska-Piszczek, Lechosław Trębacz, Jan Falkus <i>Poprawa wydajności obliczeń numerycznych symulacji COS poprzez wykorzystanie przetwarzania równoległego</i>	47
Katarzyna Miłkowska-Piszczek, Marcin Rywotycki, Jan Falkus, Krzysztof Konopka <i>Porównanie modeli opisujących wymianę ciepła w pierwotnej strefie chłodzenia maszyny COS</i>	49
Szymon Ostafin <i>Sposoby zapobiegania przenoszenia żuźla pomiędzy kolejnymi etapami produkcji slabów w cyklu produkcyjnym Zakładu Wielkie Piece i Stalowia Kraków</i>	51
Jacek Pieprzycza, Zdzisław Kudliński, Tomasz Merder <i>Wpływ niejednorodności pól temperatury w kadzi pośredniej na strukturę pierwotną wlewków ciągłych</i>	53

Jacek Pieprzyca, Tomasz Merder, Jan Jowša	
<i>Metoda wyznaczania stałych czasowych charakteryzujących intensywność mieszania się stali w kadzi pośredniej urządzenia COS.....</i>	55
Marcin Rywotycki, Zbigniew Malinowski, Katarzyna Miłkowska-Piszczyk, Andrzej Gołdasz, Beata Hadała	
<i>Wpływ modelu radiacyjnej wymiany ciepła pomiędzy powierzchniami płaskimi na pole temperatury na przykładzie krystalizatora COS.....</i>	57
Jarosław Skorupa	
<i>CASTEMP® - korzyści stosowania ciągłego pomiaru temperatury w kadzi pośredniej.....</i>	59
Wojciech Ślęzak, Marta Korolczuk-Hejnak, Piotr Migas	
<i>Wysokotemperaturowe pomiary reometryczne zasypek krystalizatorowych</i>	64
Katja Vrbek, Metod Marolt, Martin Debelak, Jakob Lamut, Matjaž Knap	
<i>Zmiany w zawartości wodoru podczas procesu produkcji stali.....</i>	67
Marek Warzecha, Tomasz Merder, Piotr Warzecha	
<i>Metody RANS i LES a struktura przepływu w kadzi pośredniej</i>	69

CONTENTS

<i>Introduction</i>	9
Marcin Bielnicki, Jan Jowša, Adam Cwudziński <i>Multiphase numerical model of molten steel and slag behavior in the continuous casting mould</i>	11
Adam Cwudziński <i>Numerical and physical simulation of liquid steel behaviour in one strand tundish with subflux turbulence controller</i>	13
Włodzimierz Derda, Przemysław Pardela <i>The use of barium and calcium alloys in the ladle furnace treatment of selected grades of continuously cast steels</i>	15
Nejc Drofelnik, Metod Marolt, Matjaž Knap, Jakob Lamut <i>Interrelation between steel melt and refractory materials in tundish</i>	17
Paweł Drożdż <i>Analysis of the equilibrium state flux powders in the mold during continuous casting of steel</i>	19
Marek Dziarmagowski, Krzysztof Konopka <i>Polish terminology regarding the continuous steel casting process</i>	21
Jacek Gajda <i>Prevention of breakout at continuous casting machine by skin sticking detection in the mold</i>	27
Andrzej Gołdasz <i>Influence of the radiation shield on the temperature of rails rolled in the reversing mill</i>	43
Tomasz Kargul, Ewa Wielgosz, Jan Falkus <i>Application of thermal analysis tests results in the numerical simulations of continuous casting process</i>	45
Krzysztof Konopka, Katarzyna Miłkowska-Piszczek, Lechosław Trębacz, Jan Falkus <i>Improving efficiency of CCS numerical simulations through use of parallel processing</i>	47
Katarzyna Miłkowska-Piszczek, Marcin Rywotycki, Jan Falkus, Krzysztof Konopka <i>Comparison of heat transfer models describing the primary cooling zone in continuous casting machine</i>	49
Szymon Ostafin <i>Methods how to avoid slag transmission between each steps during slab production in blast furnace and steel plant Kraków</i>	51
Jacek Pieprzyca, Zdzisław Kudliński, Tomasz Merder <i>The effect of the heterogeneity of the temperature field in the tundish on the primary structure of ingots</i>	53

Jacek Pieprzyca, Tomasz Merder, Jan Jowša <i>Method of determining time constants which characterize intensity of steel mixing in cc device's tundish</i>	55
Marcin Rywotycki, Zbigniew Malinowski, Katarzyna Miłkowska-Piszczek, Andrzej Gołdasz, Beata Hadała <i>The influence of the model of radiative heat transfer between flat surfaces on the temperature field based on an example of the continuous casting mould</i>	57
Jarosław Skorupa <i>CASTEMP® - benefits for using continuous temperature measurement in tundish</i>	59
Wojciech Ślęzak, Marta Korolczuk-Hejnak, Piotr Migas <i>High temperature rheometric measurements of mould powders</i>	64
Katja Vrbek, Metod Marolt, Martin Debelak, Jakob Lamut, Matjaž Knap <i>Changes in hydrogen content during steelmaking</i>	67
Marek Warzecha, Tomasz Merder, Piotr Warzecha <i>Investigation of the flow structure in the tundish with the use of rans and les methods</i>	69

WSTĘP

Z dużą przyjemnością oddajemy do rąk czytelnika materiały VI Międzynarodowej Konferencji Ciągłe Odlewanie Stali, Krynica 4÷6.06.2014. Celem konferencji jest przedstawienie najnowszych osiągnięć w zakresie technologii i modelowania procesu COS, identyfikacja i usuwanie wad powierzchniowych i wewnętrznych wlewków COS oraz technologii i modelowania przetwórstwa wlewków COS

Konferencja odbywa się w następujących grupach tematycznych:

- **Technologia COS:** Rafinacja stali przed COS, procesy w krystalizatorze, transport masy i ciepła, wylewy, zarastanie wylewów, krzepnięcie, segregacja, topniki, materiały ceramiczne.
- **Modelowanie COS:** Metody analityczne i metody numeryczne. Optymalizacja procesu COS. Przepływ cieczy i transport ciepła. Krzepnięcie, segregacja.
- **Wady wlewków z COS:** Przyczyny tworzenia się wad powierzchniowych i wewnętrznych we wlewkach z COS. Identyfikacja i usuwanie wad wlewków.
- **Walcowanie wlewków z COS:** Struktura wlewków, przygotowanie wlewków do dalszego przerobu. Wpływ jakości wlewka na proces walcowania. Optymalne rozwiązania logistyczne. Technologia i modelowanie procesów walcowania

Zainteresowanie tematyką związaną z COS wynika z dużego zapotrzebowania przemysłu hutniczego, który sygnalizuje szereg nierozwiązanych do dnia dzisiejszego problemów. Konferencja w Krynicy stała się na przestrzeni ostatnich lat potrzebnym forum, na którym dochodzi do wymiany myśli różnych środowisk związanych z COS.

Przewodniczący Komitetu Naukowego

Krynica 4÷6.06.2014



dr hab. inż. Jan Falkus, prof. AGH

Marcin Bielnicki*, Jan Jowska*, Adam Cwudziński*

WIELOFAZOWY MODEL NUMERYCZNY ZACHOWANIA SIĘ CIEKŁEJ STALI I ŻUŻLA W KRYSZALIZATORZE COS

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki symulacji numerycznej przepływu ciekłej stali z wykorzystaniem modelu wielofazowego. Badanym obiektem był krystalizator przeznaczony do ciągłego odlewania stalowych wlewków płaskich. Geometrię obiektu wraz z siatkę obliczeniową wygenerowano w programie Ansys-Meshing®. Obliczenia numeryczne wykonano w programach: COMSOL Multiphysics® i Ansys-Fluent®. Zastosowanie modelu wielofazowego pozwoliło na określenie zachowania się warstwy ciekłego żużla na powierzchni kąpeli metalowej. Na podstawie wykonanych symulacji komputerowych zaprezentowano pola ruchu ciekłej stali oraz rozkładu kinetycznej energii turbulencji ciekłej stali w płaszczyźnie symetrii krystalizatora. Bazując na wartościach zarejestrowanych w wybranych punktach pomiarowych, znajdujących się na powierzchni żużla, sporządzono wykres obrazujący zmianę położenia warstwy żużla podczas ciągłego odlewania stali.

MULTIPHASE NUMERICAL MODEL OF MOLTEN STEEL AND SLAG BEHAVIOR IN THE CONTINUOUS CASTING MOULD

The paper reports the results of numerical simulation of the flow of liquid steel with the use of a multiphase model. The facility under study was a mould designed for continuous casting of steel slabs. The geometry of the facility, along with the computational grid, was generated within the program Ansys-Meshing®. Numerical computations were performed in the programs: COMSOL Multiphysics® and Ansys-Fluent®. The use of the multiphase model enabled the determination of the behavior of the liquid slag layer on the metal bath surface. From the performed computer simulations, the fields of liquid steel motion and liquid steel turbulence kinetic energy distribution in the mould's symmetry plane have been presented. Based on the values recorded at selected measurement points located on the slag surface, a diagram illustrating the variation of the slag layer position during continuous steel casting has been plotted.

Keywords: continuous casting mould, liquid steel, slag, multiphase fluid flow model.

* Department Of Metals Extraction And Recirculation, Faculty Of Production Engineering And Materials Technology, Częstochowa University Of Technology, 19 Armii Krajowej Ave., 42-200 Częstochowa, Poland

Adam Cwudziński*

SYMULACJA NUMERYCZNA I FIZYCZNA ZACHOWANIA SIĘ CIEKŁEJ STALI W JEDNO-WYLEWOWEJ KADZI POŚREDNIEJ Z PODSTRUMIENIOWYM REGULATOREM TURBULENCJI

Praca przedstawia wyniki symulacji komputerowej (program Ansys-Fluent®) i eksperymentów laboratoryjnych (fizyczny model wodny) opisujące ruch ciekłej stali w kadzi pośredniej. Badanym obiektem jest jedno-wylewowa kadź pośrednia przeznaczona do odlewania wlewków płaskich. Geometria wewnętrzna kadzi pośredniej była zmieniona poprzez zastosowanie urządzenia sterującego przepływem w formie podstrumieniowego regulatora turbulencji. Celem otrzymania kompletnego obrazu struktury hydrodynamicznej powstającej w poszczególnych wariantach kadzi pośredniej symulacje komputerowe wykonano dla warunków izotermicznych i nieizotermicznych. Na podstawie wykonanych symulacji komputerowych i eksperymentów laboratoryjnych (modelowanie fizyczne), stwierdzono, że warunki nieizotermiczne powstające podczas ciągłego odlewania stali będą zdecydowanie oddziaływać na strukturę hydrodynamiczną w kadziach pośrednich z podstrumieniowym regulatorem turbulencji.

NUMERICAL AND PHYSICAL SIMULATION OF LIQUID STEEL BEHAVIOUR IN ONE STRAND TUNDISH WITH SUBFLUX TURBULENCE CONTROLLER

This paper presents the results of computer simulations (Ansys-Fluent®) and laboratory experiments (physical water model) carried out to describe the motion of steel flow in the tundish. The facility under investigation is a single-nozzle slab tundish. The internal geometry of consider object was changed by flow control device i.e. subflux turbulence controller (STC). In order to obtain a complete hydrodynamic picture in the tundish furniture variants tested, the computer simulations were performed for both isothermal and non-isothermal conditions. From the performed computer simulations and laboratory experiments (physical modeling) it can be found that, the non-isothermal conditions occurring during continuous steel casting will definitely influence the hydrodynamic pattern forming in the tundishes with STC.

Key words: tundish, steel flow, numerical simulation, physical modeling.

* Department of Metals Extraction and Recirculation, Faculty of Materials Processing Technology and Applied Physics, Czestochowa University of Technology, 42-200 Czestochowa, 19 Armii Krajowej ave, Poland, cwudzinski@wip.pcz.pl

Włodzimierz Derda*, Przemysław Pardela**

ZASTOSOWANIE STOPÓW BARU I WAPNIA W OBRÓBCE POZAPIECOWEJ WYBRANYCH GATUNKÓW STALI ODLEWANYCH W SPOSÓB CIĄGŁY

Przedmiotem opracowania są wyniki badań laboratoryjnych oraz przemysłowych, dotyczących zastosowania stopów Si – Ca – Ba do modyfikacji wtrąceń niemetalicznych. Na podstawie badań laboratoryjnych zbadano morfologię i skład chemiczny wtrąceń niemetalicznych w stali węglowej przed i po rafinacji przy zastosowaniu ww. stopu w charakterze dodatku rafinacyjnego. W poszczególnych próbach zastosowano zmienne dodatki stopu przy stałym czasie i temperaturze rafinacji.

W warunkach przemysłowych dokonano porównania przebiegu odlewania sekwencji siedmiu wytopów tego samego gatunku stali z zastosowaniem układu zatyczkowego w kadzi pośredniej. W wytopach tych podczas procesu w piecu kadziowym wprowadzono w charakterze modyfikatora wtrąceń niemetalicznych dodatki Si – Ca (trzy wytopy) oraz Si – Ca – Ba (cztery wytopy) w postaci drutów rdzeniowych. Dla badanych wytopów w gotowej stali oznaczono zawartości tlenu całkowitego oraz wapnia. Stwierdzono istotny wpływ jednoczesnego dodatku baru i wapnia na lejność stali, a tym samym na przebieg ciągłego odlewania badanych wytopów.

THE USE OF BARIUM AND CALCIUM ALLOYS IN THE LADLE FURNACE TREATMENT OF SELECTED GRADES OF CONTINUOUSLY CAST STEELS

The subject of the paper are the results of laboratory and industrial investigations into the use of Si – Ca – Ba alloys for modifying non-metallic inclusions. Based on laboratory tests, the morphology and chemical composition of non-metallic inclusions in carbon steel were examined before and after refining with the use of the above-mentioned alloy as a refining addition. In particular tests, variable additions of the alloy were used at a constant refining time and temperature.

Comparison of the process of casting of a sequence of seven heats of the same steel grade using the stopper system in the tundish was made under industrial conditions. In these heats, additions of Si – Ca (three heats) and Si – Ca – Ba (four heats) were introduced as a non-metallic inclusion modifier in the form of core wires during the process in the ladle furnace. For the investigated heats, the contents of total oxygen and calcium were assayed in the finished steel. A significant effect of the simultaneous addition of barium and calcium on steel castability, and thus on the process of continuous casting of the investigated heats, was found.

* Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, Politechnika Częstochowska

** CMC Poland sp. z o.o., Zawiercie

Nejc Drofelnik*, Metod Marolt*, Matjaž Knap**, Jakob Lamut**

INTERRELATION BETWEEN STEEL MELT AND REFRACTORY MATERIALS IN TUNDISH

In Štore Steel continuous cast billets 180 x 180 mm are produced. The tundish working linings is based on magnesium oxide. Melt surface is covered with alumo-silicate powder which contains carbon and aluminum particles. Samples from the interfaces between steel melt, slag and refractory material were collected for investigation of the interaction on the phase boundary. It was assumed that the chemical composition of all three participants can change as it interacts with each other. The cover powder is on the contact surface with steel melt liquid. Above the liquid layer the material is sintered and on the top remains in the form of powder. Chemical composition of cover powder is during continuous casting in sequences influenced from ladle slag. It contains calcium aluminates $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ and calcium aluminum silicates $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$. On the interface between melt, cover powder and working lining new phases are formed such as: enstatite ($\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$), monticelite ($\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$) and merwinite ($3\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$). Spinels, calcium aluminates and calcium sulfides in steel melt can cause clogging in submerged entry nozzle (SEN).

* Štore Steel, Štore, Slovenia

** Department of Materials and Metallurgy, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Slovenia

Paweł Drożdż*

ANALIZA STANU RÓWNOWAGI ZASYPEK W KRYSZALIZATORZE PODCZAS CIĄGŁEGO ODLEWANIA STALI

Zasypki krystalizatorowe w procesie ciągłego odlewania stali pełnią funkcję ochronną ciekłego metalu przed działaniem utleniającym atmosfery, zmniejszającą tarcie pomiędzy powstającym naskórkim, a ściankami krystalizatora oraz regulującą przenikanie ciepła do ścianek krystalizatora. Kluczowe znaczenie ma ich skład chemiczny, który wpływa na określenie charakterystycznych temperatur. W pracy zaprezentowano wyniki obliczeń składu równowagowego wybranych zasypek krystalizatorowych w warunkach termodynamicznych zbliżonych do rzeczywistych w procesie ciągłego odlewania wlewków przeznaczonych na wyroby płaskie w oparciu program FactSage. Obliczenia zweryfikowano wysokotemperaturowymi badaniami wybranych zasypek krystalizatorowych.

Słowa kluczowe: zasypki krystalizatorowe, ciągłe odlewanie stali, FactSage.

ANALYSIS OF THE EQUILIBRIUM STATE FLUX POWDERS IN THE MOLD DURING CONTINUOUS CASTING OF STEEL

Mould Fluxes in the continuous casting of steel have a protective function against liquid metal oxidizing atmosphere, reduces friction between the solidifying steel shell and the walls of the mould and regulating the transfer of heat. It is crucial to their chemical composition, which affects the determination of the characteristic temperatures. The paper presents calculation results of the equilibrium composition of selected mould powders in thermodynamic conditions close to real during continuous casting of steel slabs based on FactSage. The calculations were verified the high temperature tests of mould powders.

Keywords: mould flux, continuous casting of steel, FactSage.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, email: pdrozd@agh.edu.pl

Marek Dziarmagowski*, Krzysztof Konopka*

POLSKA TERMINOLOGIA PROCESU CIĄGŁEGO ODLEWANIA STALI

Proces ciągłego odlewania stali stosowany jest w świecie od wielu lat. W Polsce nie zdecydowano się jednak na zastąpienie wszystkich stosowanych w języku angielskim określeń przez odpowiednie pojęcia w języku polskim. Dotyczy to angielskich nazw wlewków przeznaczonych na wyroby długie i skrótów stosowanych do określenia systemów elektromagnetycznego mieszania stali. W artykule omówiono skutki braku pojęć w języku polskim pozwalających zastąpić określenia angielskie.

Słowa kluczowe: ciągle odlewanie stali, maszyna do ciągłego odlewania stali, terminologia, pasmo.

POLISH TERMINOLOGY REGARDING THE CONTINUOUS STEEL CASTING PROCESS

The continuous steel casting process has been used around the world for several years, but in Poland, however, not all English terms have been replaced with their Polish equivalents. These terms concern the English names of cast strands that are intended for long products (blooms, billets), along with the abbreviations used for defining steel electromagnetic stirring systems. This paper discusses the effects as regards the lack of Polish terms that can replace their English equivalents.

Keywords: continuous casting of steel, continuous steel casting machine, terminology, strand.

1. Wstęp

W świecie w celu opisu procesu ciągłego odlewania stali, charakterystyki maszyn COS i otrzymywanych produktów stosuje się określenia w języku angielskim, które często nie mają odpowiedników w języku polskim. Ogólnie przyjęte i stosowane w publikacjach i praktyce przemysłowej określenia angielskie zostały przetłumaczone na języki: francuski, hiszpański, włoski, rosyjski i niemiecki i zestawione w słowniku wydanym przez firmę Concast AG w Zurychu [1]. W wymienionym słowniku brak jest jednak odpowiednich określeń w języku polskim.

2. Stosowane w świecie i w Polsce określenia dotyczące procesu ciągłego odlewania stali

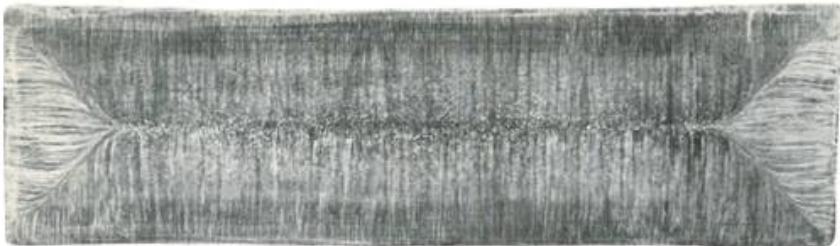
W celu określenia masy krzepnącej stali na odcinku maszyny COS od lustra metalu w krystalizatorze do miejsca cięcia zakrzepniętej stali na samotkach usytuowanych za strefa

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, email: dziarmag@metal.agh.edu.pl

wtórnego chłodzenia stosowane jest w literaturze światowej angielskie pojęcie strand. Wymienione pojęcie można tłumaczyć na język polski jako pasmo lub żyła. Z reguły pojęcie pasmo stosuje się dla masy krzepnącej stali, a określenie żyła dla opisu konstrukcyjnego odcinka maszyny COS [2, 3]. Odcięte odcinki pasma o określonym przekroju i długości nazywane są w Polsce wlewkami ciągłymi [2, 3]. Wyjątkiem jest praca [3], w której określenie krzepnący wlewek stosowane jest również dla masy stali znajdującej się w maszynie COS na odcinku od lustra metalu w krystalizatorze do miejsca cięcia zakrzepniętej stali na samotokach.

W zależności od przeznaczenia maszyny COS dzieli się na maszyny odlewające wlewki ciągłe o przekroju prostokątnym przeznaczone na wyroby płaskie oraz na maszyny odlewające wlewki ciągłe o przekroju prostokątnym, kwadratowym, wielokątnym, okrągłym i w kształcie litery H przeznaczone na wyroby długie. W świecie przyjmuje się, że wlewek ciągły, którym stosunek grubości do szerokości wynosi minimum 1:3 i jednocześnie szerokość wynosi minimum 600 mm nazywa się w języku angielskim slab. Dla wlewków ciągłych o przekroju kwadratowym i wymiarach boku równych lub mniejszych od 160 mm oraz wlewków prostokątnych, wielobocznych lub okrągłych, których przekrój jest równy lub mniejszy od przekroju wlewków kwadratowych o wymiarach 160 x 160 mm stosuje się określenie billet lub round billet. Pojęcie bloom stosowane jest dla wlewków ciągłych o przekroju większym od przekroju wlewków kwadratowych o wymiarach 160 x 160 mm. Wlewki ciągłe w kształcie litery H określane są zgodnie z ich przeznaczeniem jako rail steel. Przykłady przekrojów wlewków ciągłych i nazw stosowanych w świecie przedstawiono na rys. 1 [1].

a)



b)



c)



d)



Rys. 1. Przykłady stosowania pojęć w języku angielskim: a) slab, b) bloom, c) billet, d) round billet.

Przedstawione powyżej angielskie pojęcia pozwalają na precyzyjne określenie rodzaju odlewanych wlewków. W Polsce stosuje się pojęcia pozwalające jedynie na określenie

rodzaju przekroju, ale nie pozwalające dokładne określenie wymiarów wlewka ciągłego. Przykładowo stosuje się określenia: wlewki o małym lub dużym przekroju kwadratowym, prostokątnym lub okrągłym. Z tych powodów konieczne staje się uzgodnienie polskich odpowiedników pojęć angielskich takich jak: slab, bloom i billet.

Pojęcia stosowane w języku angielskim do określania rodzaju wlewków ciągłych stosowane są także do opisu typów maszyn COS, co można przedstawić na kilku wybranych przykładach: The 2 – Strand Slab Caster, The 4 – Strand Bloom Caster, The 6 – Strand Billet Caster. Przedstawione przykłady pozwalają na precyzyjne określenie przeznaczenia maszyny COS oraz ilości i wymiarów odlewanych pasm. W Polsce stosuje się pojęcia pozwalające na określenie przeznaczenia maszyny COS i ilości odlewanych pasm, ale w przypadku maszyn stosowanych do odlewania wlewków przeznaczonych na wyroby długie stosowane opisy nie pozwalają na określenie wymiarów odlewanych wlewków. Wynika to z braku odpowiedniego nazewnictwa rodzajów wlewków ciągłych w języku polskim.

Przykładem zamiennego stosowania pojęć w języku angielskim i polskim jest metoda polegająca na systematycznym zmniejszaniu odstępów pomiędzy parami rolek na określonej długości maszyny COS w celu zmniejszenia segregacji składu chemicznego oraz wyeliminowania porowatości w osi pasma. W języku angielskim metoda nazywana jest soft reduction, a w języku polskim określana jest jako metoda dogniatania pasma lub redukcja grubości pasma.

W celu opisu dodatkowego wyposażenia maszyn COS stosuje się często określenia w języku polskim wraz ze skrótem angielskiej nazwy. Przykładem jest hamulec elektromagnetyczny EMBR, który wykorzystywany jest do sterowania przepływem ciekłej stali w krystalizatorze maszyny COS. Skrót EMBR zapisywany jest w języku angielskim jako electromagnetic brake.

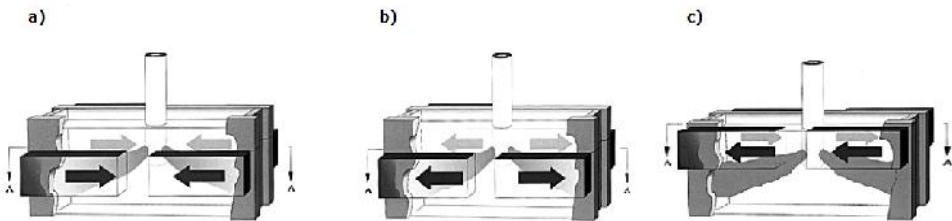
Określenie w języku polskim wraz ze skrótem angielskiej nazwy stosuje się także w celu opisu systemu elektromagnetycznego mieszania ciekłej stali w krystalizatorze. W maszynach przeznaczonych do odlewania wlewków płaskich stosuje się 3 systemy mieszania z liniowym polem elektromagnetycznym:

System poziomej stabilizacji – EMLS /Electromagnetic Level Stabilizer/, w którym linie sił pola skierowane do środka krystalizatora przyspieszają lub hamują strumienie stali, które przepływają do naroży krystalizatora. Pozwala to na sterowanie wielkością menisku.

System poziomego przyspieszania – EMLA /Electromagnetic Level Accelerator/, w którym siły pola skierowane do ścian krystalizatora wymuszają poziomy przepływ oddziaływujący hamująco na przepływ stali przez krystalizator. Temperatura stali w strefie menisku wzrasta, co opóźnia tworzenie się naskórka.

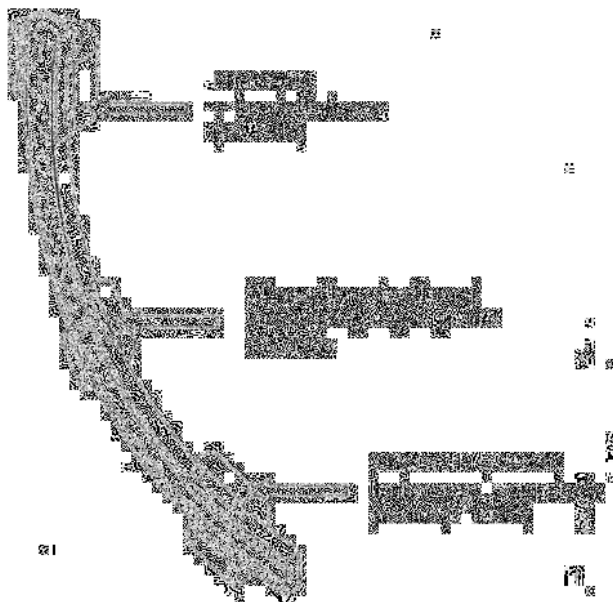
System elektromagnetycznego mieszania – EMS /Electromagnetic Stirrers/, w którym siły pola wymuszają poziomą cyrkulację stali w krystalizatorze, co pozwala na sterowanie przepływem stali.

Przykłady stosowania określeń w języku angielskim dla systemów elektromagnetycznego mieszania ciekłej stali w krystalizatorze maszyny COS do odlewania stali przeznaczonej na wyroby płaskie przedstawiono na rysunku 2 [4].



Rys. 2. Przykłady stosowania określeń w języku angielskim dla systemów elektromagnetycznego mieszania ciekłej stali w krystalizatorze maszyny COS do odlewania stali przeznaczonych na wyroby płaskie: a) Electromagnetic Level Stabilizer - EMLS, b) Electromagnetic Level Accelerator – EMLA, c) Electromagnetic Stirrers – EMS.

W maszynach COS odlewających wlewkę przeznaczoną na wyroby długie stosuje się na ogół mieszadła z obrotowym polem magnetycznym. W przypadku zastosowania mieszadła do mieszania stali w krystalizatorze system oznaczany jest jako MEMS lub M-EMS /Mould Electromagnetic Stirrers/. Mieszadło może zostać również umieszczone pod krystalizatorem lub w końcowej strefie krzepnięcia w celu hamowania wzrostu tworzących się dendrytów i ograniczenia nieciągłości materiału. System mieszania pod krystalizatorem oznacza się jako S-EMS, a końcowej fazy krzepnięcia jako F-EMS. Litery S i F są skrótami słów angielskich strand i final. Schemat rozmieszczenia mieszadeł elektromagnetycznych w maszynie COS do odlewania wlewków przeznaczonych na wyroby długie przedstawiono na rysunku 3 [3,5].



Rys. 3. Przykłady stosowania skrótów w języku angielskim dla określenia sposobu rozmieszczenia mieszadła elektromagnetycznego w maszynie COS do odlewania wlewków przeznaczonych na wyroby długie.

3. Podsumowanie

Proces ciągłego odlewania stali stosuje się w świecie od wielu lat. W Polsce angielskie określenia Continuous Casting – CC i Continuous Casting Machine – CCM zastąpiono określeniami ciągłe odlewanie stali – COS i maszyna do ciągłego odlewania stali. Jednocześnie angielską nazwę slab zastąpiono polskim pojęciem wlewk płaski. Nie zdecydowano się jednak na powszechne zastąpienie angielskich nazw bloom i billet polskimi odpowiednikami. Utrudnia to charakterystykę wlewków przeznaczonych na wyroby długie i praktycznie uniemożliwia przekazanie informacji o ich wymiarach w jednozdaniowym opisie wybranej maszyny COS. Wydaje się celowe uzgodnienie odpowiednich pojęć w języku polskim pozwalających zastąpić określenia w języku angielskim.

Stosowane w Polsce określenia dotyczące procesu elektromagnetycznego mieszania stali wraz z angielskimi skrótami można uznać za wystarczające. Próba zastąpienia angielskich skrótów polskimi odpowiednikami nie wydaje się konieczna. Należy zauważyć, że analogiczny system został powszechnie przyjęty i jest stosowany w polskim nazewnictwie procesów zintegrowanych od ponad 20 lat.

Literatura

- [1] Concast Dictionary, Zurich, 1975.
- [2] Turczyn S.: Inżynieria wytwarzania płaskich wyrobów walcowanych na gorąco, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2008.
- [3] Kudliński Z.: Technologie odlewania stali, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
- [4] The Making, Shaping and Treating of Steel, 11th Edition Casting Volume, The AISE Stel Foundation, Pittsburgh, 2003.
- [5] Modelowanie procesu ciągłego odlewania stali, monografia, redaktor naukowy: J. Falkus, AGH, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, 2012.

Jacek Gajda*

ZAPOBIEGANIE WYCIEKOM NA MASZYNIE CIĄGŁEGO ODLEWANIA STALI POPRZEZ WYKRYWANIE PRZYKLEJEŃ NASKÓRKA W KRYSTALIZATORZE

W niniejszej pracy opisano zjawisko przyklejenia naskórka stalowego w krystalizatorze maszyny ciągłego odlewania stali, które prowadzi do powstawania wycieku stali skutkującego przerwaniem procesu odlewania. Przedstawiono zasadę działania systemów do wykrywania przyklejeń oraz scharakteryzowano najważniejsze z nich dostępne na rynku. Zaprezentowano także doświadczenia przemysłowe z zastosowania systemów wykrywających przyklejenia.

PREVENTION OF BREAKOUT AT CONTINUOUS CASTING MACHINE BY SKIN STICKING DETECTION IN THE MOLD

In this paper steel skin sticking phenomena in continuous casting machine was described, which results in a breakout, a serious failure leading to interruption of the casting process. A general rule of a sticking detection system was shown and the most important breakout prediction systems available on the market were characterized. Industrial experience in use of such systems was presented.

Keywords: sticker, breakout, continuous casting, breakout prediction system.

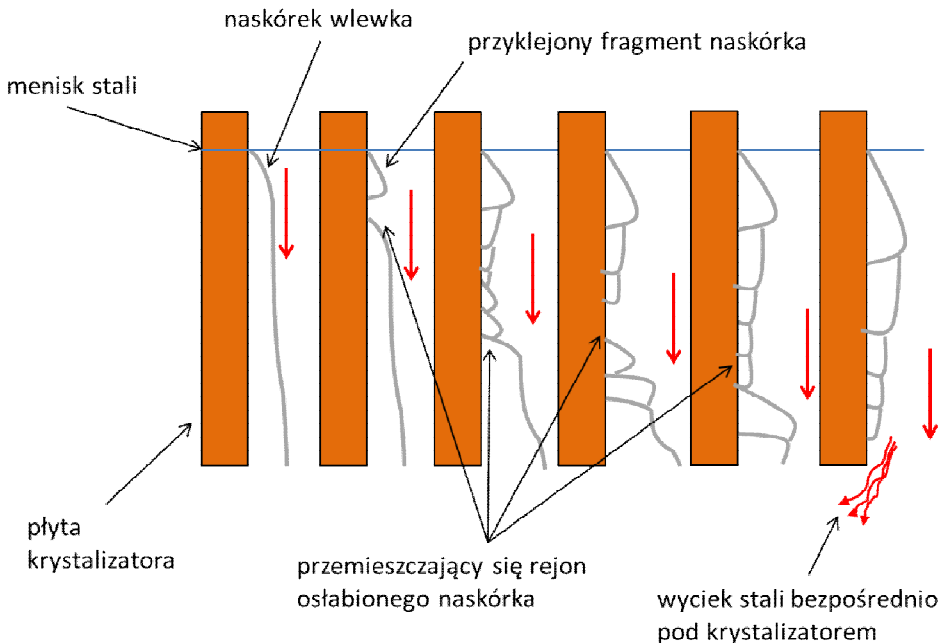
1. Wyciek stali na maszynie do ciągłego odlewania stali

Zjawisko nazywane wyciekiem stali jest najpowszechniej spotykaną sytuacją potencjalnie awaryjną na wszystkich typach maszyn COS (ciągłego odlewania stali) niezależnie od ich konstrukcji i rodzaju odlewanej wyrobu. Wyciek jest zjawiskiem złożonym, i może być sumą kilku czynników a w uproszczeniu polega na rozerwaniu naskórka stali w krystalizatorze, bezpośrednio pod nim lub w dalszej części maszyny COS w wyniku którego następuje wylanie się ciekłej stali z wnętrza nie skryzalizowanego jeszcze całkowicie pasma stalowego co powoduje zatrzymanie procesu i zniszczenie urządzeń w narażonym rejonie. W zależności od wielkości i złożoności budowy maszyny COS straty spowodowane wyciekiem stali szacowane są średnio na 100 000 PLN (co stanowi zwykle koszt zniszczonego osprzętu) jednak w skrajnych przypadkach koszty wycieku wraz z następstwami mogą przekraczać tę kwotę nawet kilkukrotnie jeżeli pojawią się dodatkowe zniszczenia lub usterki urządzeń. W związku z tym istotną sprawą jest rozwój metod pozwalających na zapobieganie wyciekom. Poniższy dokument dotyczy wycieków powstających na skutek przyklejenia naskórka w krystalizatorze oraz sposobów zapobiegania tego rodzaju wyciekom poprzez wczesne wykrywanie przyklejeń w krystalizatorze przy zastosowaniu systemów przewidywania wycieków (ang. BPS – breakout prediction system).

* ArcelorMittal Poland Dąbrowa Górnicza

2. Przyklejenie – opis zjawiska

Jak wiadomo centralnym urządzeniem maszyny COS w którym rozpoczyna się proces krzepnięcia stali jest krystalizator, tu właśnie w początkowej fazie tworzenia się naskórka może dojść do tzw. przyklejenia czyli zablokowania fragmentu naskórka pasma, który nie przemieszcza się zgodnie z kierunkiem odlewania ale przywiera do powierzchni krystalizatora. Przyjmuje się, że przyklejenie najczęściej ma miejsce w rejonie tuż poniżej menisku stali (Rysunek 1).



Rysunek 1. Przebieg przyklejenia w krystalizatorze.

W wyniku przyklejenia fragmentu naskórka jednolita struktura utworzona w krystalizatorze zostaje rozerwana i w konsekwencji kontynuowania procesu wyciągania pasma osłabiony fragment przemieszcza się w dół krystalizatora nie będąc jednak w stanie odbudować się na tyle aby wytworzyć wystarczająco silną i jednorodną strukturę. Jeżeli proces nie zostanie przerwany zwykle dochodzi do rozerwania pasma (wycieku) bezpośrednio pod krystalizatorem.

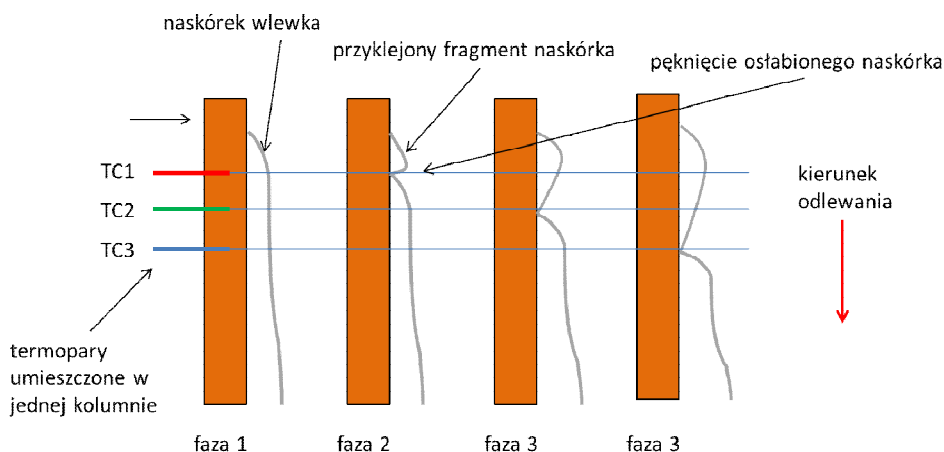
Zjawisko przyklejenia może podlegać detekcji i od początku lat 80tych XX wieku na maszynach COS instalowane są systemy mające na celu wczesne wykrywanie przyklejeń. Sygnał z takiego systemu wysłany zostaje do układu sterowania napędami maszyny po czym następuje natychmiastowa sekwencja zmniejszenia prędkości i powolnego powrotu do normalnej prędkości odlewania. Dzięki takiej reakcji i wydłużeniu czasu przebywania metalu w krystalizatorze istnieje możliwość regeneracji naskórka co umożliwia kontynuację procesu odlewania.

3. Systemy wykrywania przyklejeń – charakterystyka ogólna

Wszystkie współczesne systemy wykrywania przyklejeń opierają swoją zasadę działania na pomiarach temperatury wykonywanych przy pomocy układu termopar montowanych w płytach krystalizatora, których sygnał korelowany jest z podstawowymi parametrami procesu jak prędkość odlewania, poziom metalu w krystalizatorze i aktualna geometria krystalizatora a następnie poddawany analizie przez dedykowany program komputerowy. Jeżeli program analizujący wykryje przyklejenie zwykle wysyła sygnał do sterownika PLC maszyny COS, który z kolei zmniejsza prędkość odlewania do minimalnej granicznej aby mogła nastąpić regeneracja naskórka w krystalizatorze. Można spotkać również systemy dodatkowo uwzględniające siły tarcia w krystalizatorze z monitoringu pracy systemu oscylacji oraz strumień ciepły w krystalizatorze - jednak są to tylko funkcje pomocnicze o niskiej skuteczności.

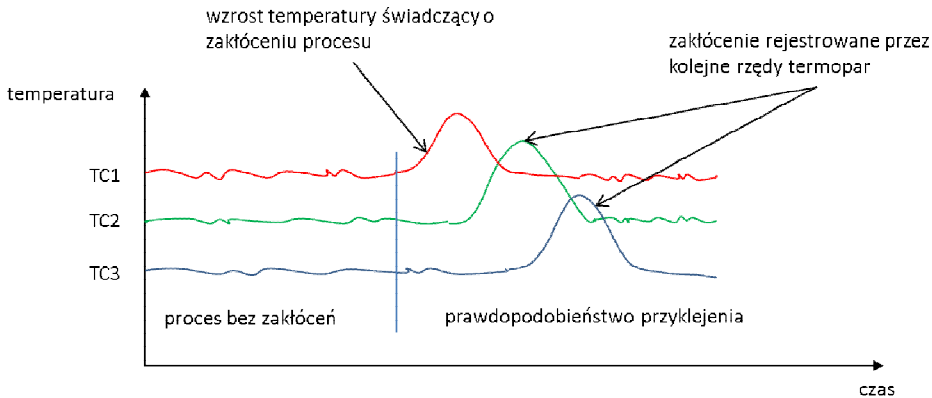
3.1. Zasada detekcji

W podstawowym założeniu detekcja przyklejeń opiera się na rejestracji charakterystycznego profilu temperaturowego rejestrowanego przez układ termopar podczas wystąpienia przyklejenia.



Rysunek 2. Kolejne fazy pokazują przejście przyklejenia w obszarze termopar krystalizatora.

W sytuacji idealnej gdy proces przebiega stabilnie termopara TC1 umieszczona najwyżej (najbliżej menisku) powinna rejestrować temperaturę najwyższą a termopara TC3 temperaturę najniższą (faza 1). Jeżeli wystąpi przyklejenie a następnie rozerwanie naskórka to na skutek kontaktu płyty krystalizatora ze stałą o wyższej temperaturze niż temperatura naskórka następuje wzrost temperatury rejestrowany na termoparze TC1 (faza 2). Wraz z kontynuacją procesu odlewania przemieszczające się zaburzenie w utworzonym naskórku powoduje wzrosty temperatur kolejnych termopar (faza 2, faza 3) jednocześnie temperatura w miejscu gdzie naskórek uzyskuje grubość zbliżoną do prawidłowej wraca do pierwotnej wartości (faza 3). Rejestrację zjawiska w postaci krzywych temperaturowych na osi czasu pokazano na rysunku 3.



Rysunek 3. Temperatura rejestrowana przez układ termopar w trakcie przyklejenia.

3.2. Budowa układu

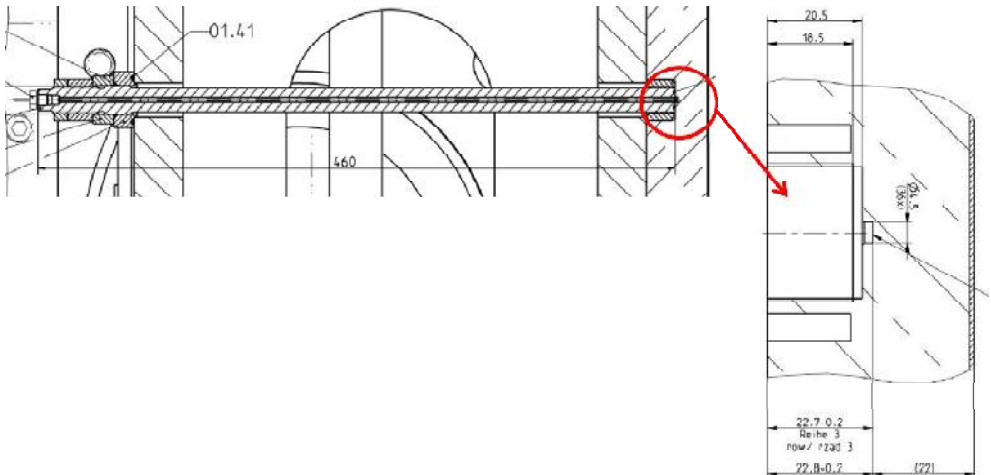
Typowy system wykrywania przyklejeń czy też jak powszechnie się go nazywa przewidywania wycieków składa się z trzech podstawowych składowych:

- układu elementów pomiaru temperatury w krystalizatorze,
- układu transmisji i przetwarzania sygnału,
- komputerów i oprogramowania do detekcji przyklejenia i wizualizacji procesu.

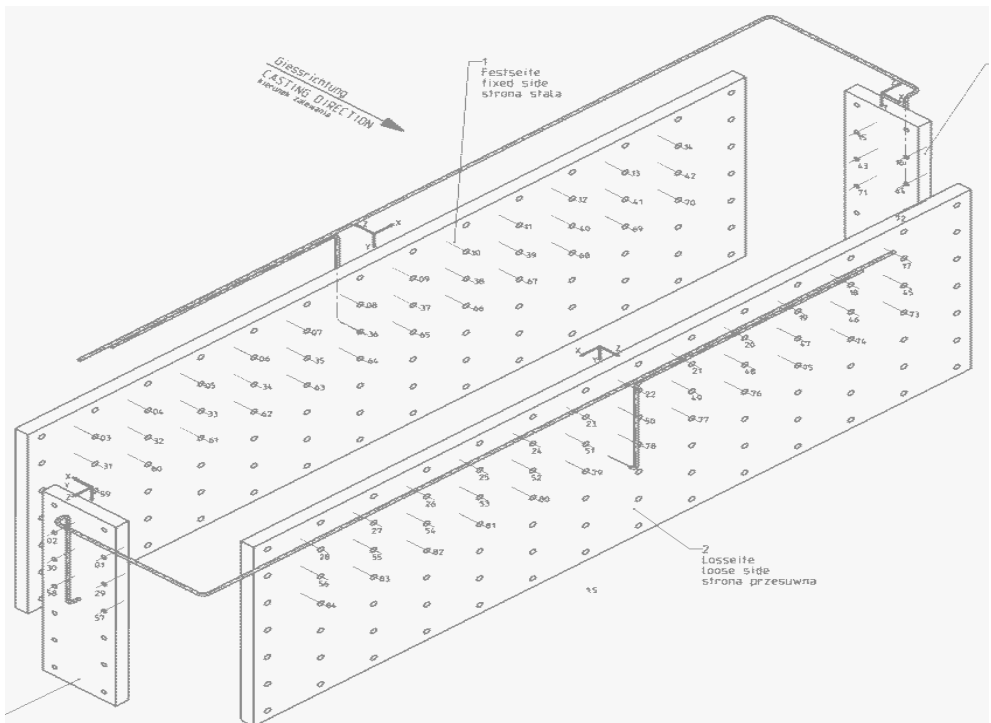
3.2.1. Układ elementów pomiaru temperatury w krystalizatorze

Spotyka się dwa główne typy elementów pomiarowych: termopary jednoprzewodowe CuNi typu T (mocowane poprzez spawanie do powierzchni pomiarowej) oraz częścię stosowane termopary dwuprzewodowe NiCrNi typu K mocowane poprzez docisk śrubą (Rysunek 4) lub sprężyną. Termopary mogą być instalowane z wykorzystaniem śrub montażowych mocujących płyty krystalizatora i znajdują się wtedy wewnątrz takiej śruby albo też montowane są w niezależnie przygotowanych otworach. Najczęściej montowane są poziomo (poprzecznie do kierunku odlewania) ale spotyka się również przypadki montażu pionowego lub połączenie tych dwóch metod. Ilość i miejsce montażu termopar powinna być dostosowana do specyfiki maszyny COS a w zasadzie do prędkości odlewania i wielkości odlewane go produktu, jednakże większa ilość termopar daje większą niezawodność systemu w przypadku pojawienia się problemów ze sprawnością termopar co w warunkach przemysłowych zdarza się dość często. Istotne jest zachowanie odpowiednich odległości od menisku aby przyklejenie w ogóle mogło zostać wykryte oraz wzajemnych odległości pomiędzy termoparami aby przyklejenie wykryć najszybciej jak to możliwe. Ważnym zagadnieniem jest również odległość termopary od powierzchni płyty miedzianej mającej kontakt ze stalą aby zapewnić sygnał wystarczająco czytelny dla oprogramowania monitorującego. Jako minimum stosuje się montaż termopar w dwóch rzędach jednak w przypadku instalacji do odlewania z dużymi prędkościami stosuje się cztery lub pięć rzędów. W przypadku maszyny COS3 w AMP Dąbrowa Górnicza zastosowano 84 termopary umieszczone w trzech rzędach po 12 kolumn na każdej ścianie szerokiej krystalizatora i po dwie na każdej ścianie wąskiej. Odległości montażowe termopar mierzone od górnej krawędzi płyty krystalizatora dla poszczególnych rzędów wynoszą rząd 1 – 178 mm, rząd 2 – 314 mm, rząd 3 - 450 mm natomiast odległość między

kolumnami wynosi 188 mm na stronie szerokiej i 138mm dla termopar na stronie wąskiej (Rysunek 6).



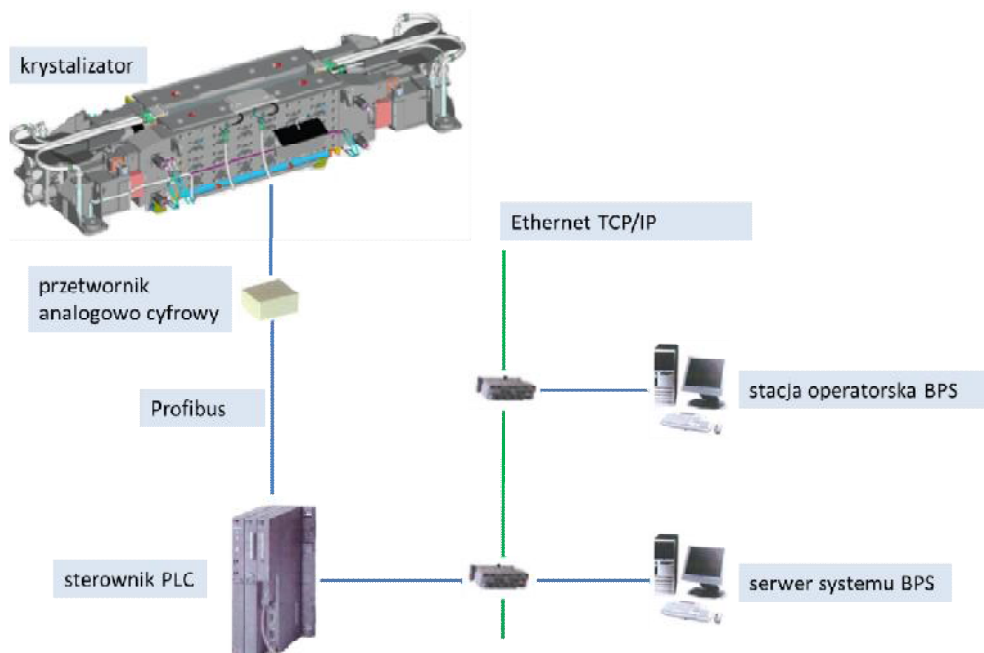
Rysunek 4. Termopara zamontowana wewnątrz śruby mocującej płytę krystalizatora.



Rysunek 6. Płyty krystalizatora z siatką termopar.

3.2.2 Układ transmisji i przetwarzania sygnału

Sygnały z termopar z postaci analogowej zamieniane są na cyfrową za pomocą przetworników analogowo-cyfrowych umieszczonych zwykle bezpośrednio na krystalizatorze choć spotyka się także rozwiązania gdy sygnał analogowy zostaje wyprowadzony poza komorę chłodzenia maszyny. Schemat poglądowy całości systemu wykrywania przyklejeń przedstawiono na Rysunku 7. Doprowadzenie sygnału do przetwornika może odbywać się bezpośrednio długim przewodem termopary lub za pomocą połączeń co daje możliwość łatwej wymiany pojedynczej termopary. Montaż przetworników analogowo-cyfrowych bezpośrednio na krystalizatorze jest rozwiązaniem dobrym jeżeli zapewniona zostaje odpowiednia izolacja od warunków panujących w komorze chłodzenia (wilgoć i wysoka temperatura). Po zamianie sygnału analogowego na cyfrowy przekazywany jest on do sterownika PLC maszyny COS gdzie może podlegać archiwizacji w bazie danych a następnie transmitowany jest do komputerów systemu gdzie odbywa się analiza sygnałów z termopar przy użyciu oprogramowania do wykrywania przyklejeń oraz wizualizacja procesu.



Rysunek 7. Układ wykrywania przyklejeń.

3.2.3. Oprogramowanie do detekcji przyklejenia i wizualizacji procesu

Opisane do tej pory elementy układu stanowią podstawę do wykonania obliczeń dla oprogramowania wykrywającego przyklejenie i o ile od strony sprzętowej układy są dość proste w zakresie modyfikacji i konfiguracji o tyle producenci systemów nie udostępniają zwykle kodów źródłowych oprogramowania i szczegółowych zasad działania algorytmów wykrywających przyklejenie. Różne podejście do sposobu obliczania w algorytmach skutkuje dość różną skutecznością systemów. Oprócz wykrywania przyklejeń istotne jest

również aby system nie reagował na każde niewielkie zachwiania parametrów gdyż pociąga to za sobą generowanie tzw. fałszywych alarmów czyli alarmów o przyklejeniach które w rzeczywistości przyklejeniami nie są. Po zadziałaniu systemu - zwolnieniu prędkości słab zostaje obciążony wadą nazywaną niespawem (tzw. przerwa w laniu) co powoduje oczywiste straty finansowe.

Wydaje się, że stosowane w systemach BPS obliczeniach bazują na algorytmach wykorzystujących:

- wzrost i/lub spadek temperatury pojedynczej termopary,
- szybkość wzrostu/spadku temperatury pojedynczej termopary,
- różnice w zmianach temperatury termopar w szeregu (horyzontalna propagacja przyklejenia),
- różnice zmian temperatury termopar w jednej kolumnie (propagacja przyklejenia w kierunku odlewania).

Wartości dla których program decyduje o wygenerowaniu alarmu (próg czułości) lub zmienia sposób obliczeń mogą się zmieniać dynamicznie w zależności od stanu procesu - w przypadku bardziej zaawansowanych algorytmów.

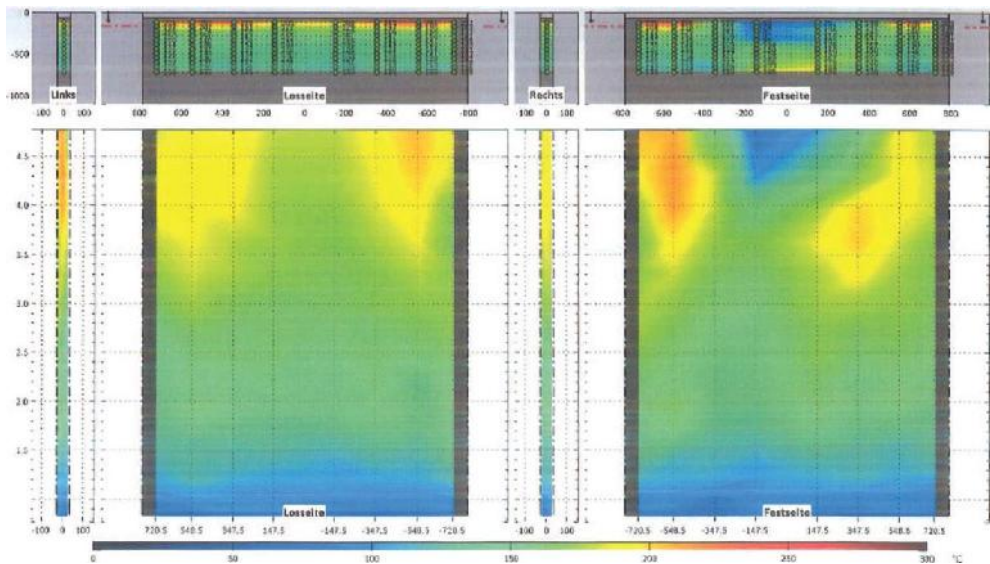
4. Współczesne metody wykrywania przyklejeń – przegląd dostępnych systemów

Na rynku istnieje szereg firm zajmujących się instalacją systemów typu BPS, są to zarówno duże koncerny działające w branży metalurgicznej od wielu lat (Danieli, SMS Siemag, Siemens VAI) jak i mniejsze firmy zajmujące się szeroko pojętą automatyką (Ingeteam) czy też firmy wyspecjalizowane w tym jednym tylko systemie (EBDS). Oferują one szeroki wachlarz usług od całościowej instalacji wszystkich podzespołów lub tylko częściową wymianę w przypadku modernizacji istniejącego układu. Większość systemów w ogólnym zarysie jest podobna poniżej przedstawione zostaną więc tylko najważniejsze informacje.

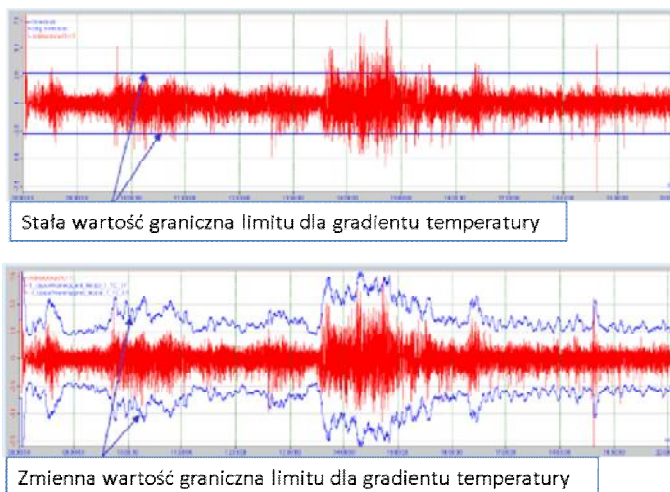
4.1 Mold Monitoring System firmy SMS Siemag

System oferowany w obecnej formie jest wersją rozwojową systemu obecnego na maszynach COS firmy SMS od kilkunastu lat. W starszą wersję systemu (rok 2006) wyposażona jest maszyna COS3 w AMP Dąbrowa Górnicza. Najnowsza wersja wnosi sporo zmian w stosunku do poprzedniej, interfejs programu został całkowicie przebudowany, poprawiono mapowanie temperatury oraz moduł analizy danych.

Poprzednia wersja oprogramowania opierała się na sztywno ustalonych wartościach granicznych gradientów temperatur, których przekroczenie po spełnieniu dodatkowych warunków [1] skutkuje wygenerowaniem alarmu, nowa wersja zmienia wartości graniczne dynamicznie w zależności przebiegu procesu odlewania.

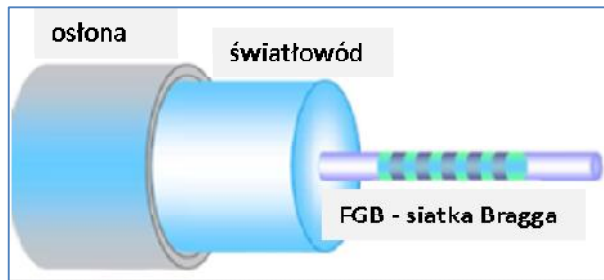


Rysunek 8. Mapowanie temperatury w najnowszej wersji systemu BPS firmy SMS.



Rysunek 9. Nowe podejście do wykrywania przyklejeń poprzez zastosowanie dynamicznie zmieniających się wartości granicznych gradientów temperatury.

Sporą innowacją wprowadzaną właśnie przez firmę SMS jest zastosowanie technologii nazwanej HD Mold polegającej na zastąpieniu klasycznych termopar techniką światłowodową z wykorzystaniem zasady działania światłowodowej siatki Bragga.



Rysunek 10. Światłowód z siatką Bragga.

Mechanizm jest następujący: przewód światłowodowy z siatką Bragga (ang. Fiber Bragg Grating) umieszczony jest w płycie miedzianej krystalizatora gdzie pod wpływem zmian temperatury następuje jej rozciąganie co skutkuje zmianami długości fali świetlnej która następnie zamieniana jest na wartość temperaturową. Zastosowanie tej technologii pozwala na praktycznie nieograniczone zwiększenie ilości punktów pomiarowych co może przynieść znaczny postęp zarówno w dziedzinie poprawy własności eksploatacyjnych układów jak i łatwiejszej i dokładniejszej kontroli wielu innych parametrów w krystalizatorze np.: napełnienia krystalizatora, grubości warstwy zasyпки, gęstość strumienia ciepłego oraz grubości naskórka.

4.2. Simens VAI – system Mold Expert

MoldExpert jest złożonym pakietem oprogramowania [5] które poza funkcją wykrywania przyklejeń ma na celu diagnozę także innych zjawisk występujących w obszarze krystalizatora i składa się z następujących modułów oprogramowania:

- BreakoutExpert – standardowo używa algorytmów wykrywających przyklejenia ale oprócz tego posiada algorytmy do wykrywania i śledzenia miejsc o podwyższonej temperaturze, które informują o innych zaburzeniach procesu jak: pęknięty wylew zanurzony, asymetryczny wpływ stali, nierównomierne rozprowadzenie zasyпки.
- FrictionExpert – oblicza siły tarcia w krystalizatorze na podstawie skoków oscylacji i wartości ciśnień w siłownikach (krystalizator musi być wyposażony w oscylację hydrauliczną) i monitoruje nienaturalny wzrost tarcia w krystalizatorze podczas odlewania co teoretycznie pozwala oszacować zachowanie zasyпки smarującej oraz prawdopodobieństwo wycieku związane z brakiem smarowania,
- LevelExpert – moduł, który poprzez monitoring poziomu stali w krystalizatorze i położenia zatyczki wykonuje ocenę kontaktu pasma z rolkami i wybrzuszenia pasma (ang. bulging) i dzięki wczesnemu ostrzeganiu obsługi maszyny umożliwia wypracowanie odpowiedniej reakcji,
- HeatFluxExpert – monitoruje wymianę ciepła w krystalizatorze umożliwiając obserwacje pojawiających się anomalii np. asymetryczny odbiór ciepła związany z nieprawidłową zbieżnością krystalizatora.

Choć oprogramowanie MoldExpert wydaje się być najbardziej zaawansowanym i złożonym na rynku nie jest to system doskonały. Stalownia w Châtelet raportowała o sporej ilości fałszywych alarmów (50%) oraz wyciekach powodowanych niewykrytymi przyklejeniami [2], również stalownia w Dofasco przedstawiała problemy z niewykrywaniem wycieków co mogło być związane z problemami technicznymi układu pomiarowego [3].

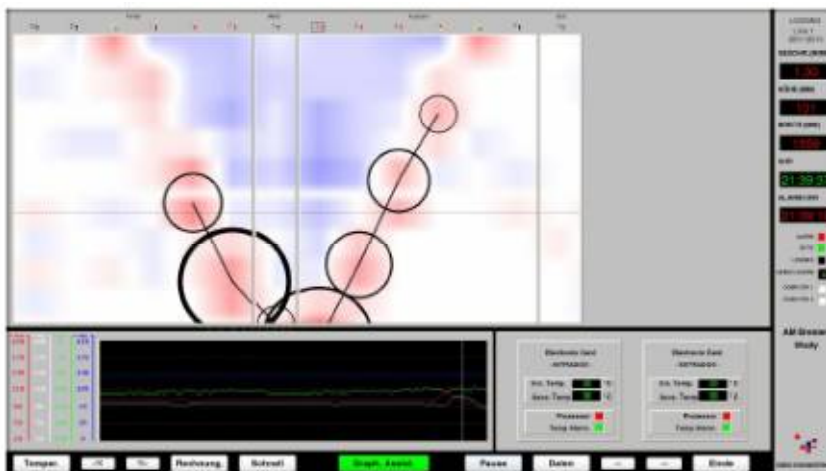
4.3. System przewidywania wycieków SAPSOL – SERT

System SAPSOL rozwijany od początku lat 80 XX wieku przez konsorcjum USINOR oferowany jest aktualnie przez firmę SERT która od początku współpracowała przy jego tworzeniu jako dostawca podzespołów. Firma SERT jako jedyna oferuje montaż termopar we wszystkich możliwych konfiguracjach czyli poziomo w śrubach mocujących płytę, poziomo w dodatkowych śrubach lub pionowo. W odróżnieniu od innych systemów w tym przypadku po wykryciu przyklejenia i zwolnieniu odlewania program posiada algorytm dla sterowania prędkością tak aby zoptymalizować prędkość w okresie regeneracji naskórka. Firma SART dostarcza również program do symulacji przyklejeń dla celów testowych. System zainstalowany jest w wielu hutach w zachodniej Europie (Florange, Dunkerque, Avilés, Fos) i sprawdza się zarówno w zakresie wykrywania przyklejeń jak i małej ilości fałszywych alarmów dzięki wielu modyfikacjom i dostrojeniu do warunków odlewania [3], [6].

4.4 MARTINE system firmy EBDS

System firmy EBDS skonfigurowany jest do wykorzystywania tylko dwóch rzędów termopar krystalizatora, wykorzystuje też tylko jedną kolumnę ściany wąskiej krystalizatora. Algorytmy aktywują alarmy na trzech różnych poziomach:

- pierwszy poziom informuje o nadmiernym wzroście temperatury w stosunku do ostatnich 60 sekund procesu odlewania,
- drugi poziom oznacza że po pierwszym poziomie profile temperaturowe są zgodne z profilami przyklejenia,
- trzeci poziom oznacza wykrycie wycieku (przyklejenia) i generuje sygnał do PLC dla zmniejszenia prędkości odlewania.

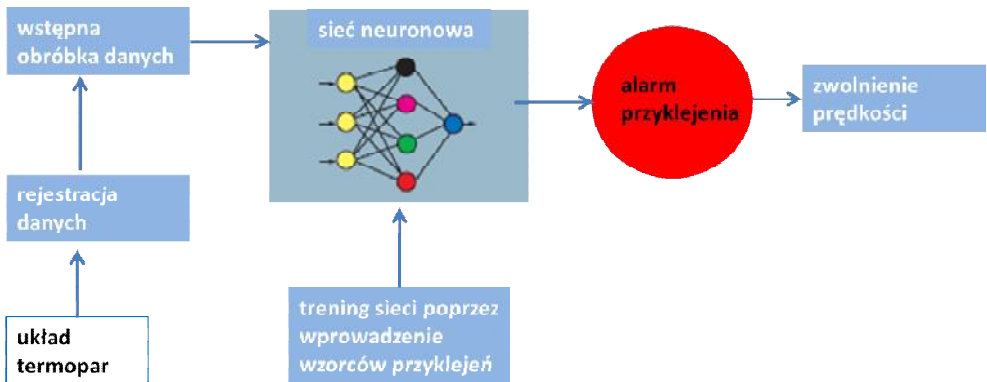


Rysunek 11. Wizualizacja przyklejenia system Martine.

Program umożliwia dostosowywanie parametrów obliczeń i przeprowadzanie symulacji z nowymi nastawami - możliwa jest niezależna regulacja czułości i strategii. System zapewnia doskonałą wizualizację przyklejeń umożliwiając ich rozpoznawanie przez obsługę niezależnie od alarmów systemu.

4.5. Mould Breakout Prevention System (MBPS) firmy Danieli

System oferowany jest w dwóch modułach [4] które mogą być stosowane równolegle lub całkowicie niezależnie: pierwszy z nich to klasyczny system termicznego monitoringu krystalizatora (Mould Thermal Monitoring - MTM) drugi oparty jest na zastosowaniu sieci neuronowej (Neural Networkbased System – NN). W drugim przypadku teoretycznie system wykazuje pełną funkcjonalność również wtedy gdy do dyspozycji pozostaje ograniczona ilość termopar. System jest w stanie uczyć się poprzez analizę dostępnych danych historycznych.



Rysunek 12. Schemat działania systemu MBPS NN firmy Danieli

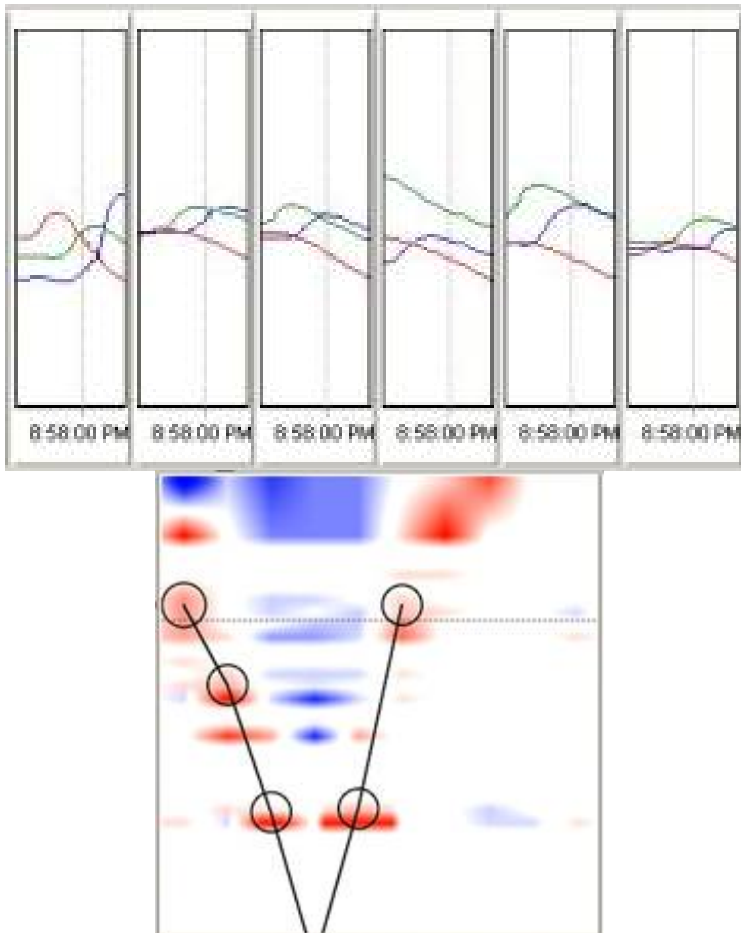
4.6 System Argus firmy Ingeteam

System stosowany jest na maszynach posiadających dwa i więcej rzędów termopar i może w tym zakresie zostać dość szeroko dostosowany. Jest systemem zamkniętym nie umożliwiając użytkownikowi na modyfikację parametrów, która wykonywana jest wyłącznie przez firmę Ingeteam. Użytkownik otrzymuje narzędzie symulacyjne umożliwiające sprawdzenie danych historycznych na zmodyfikowanej wersji systemu w trybie off-line. Logika obliczeniowa systemu działa przede wszystkim w oparciu o dane z osi pomiarowych pionowych obliczając lokalne prawdopodobieństwo wystąpienia wycieku oraz prawdopodobieństwo dla całego układu termopar.

5. Doświadczenia z systemami typu BPS w ArcelorMittal Poland Dąbrowa Górnicza

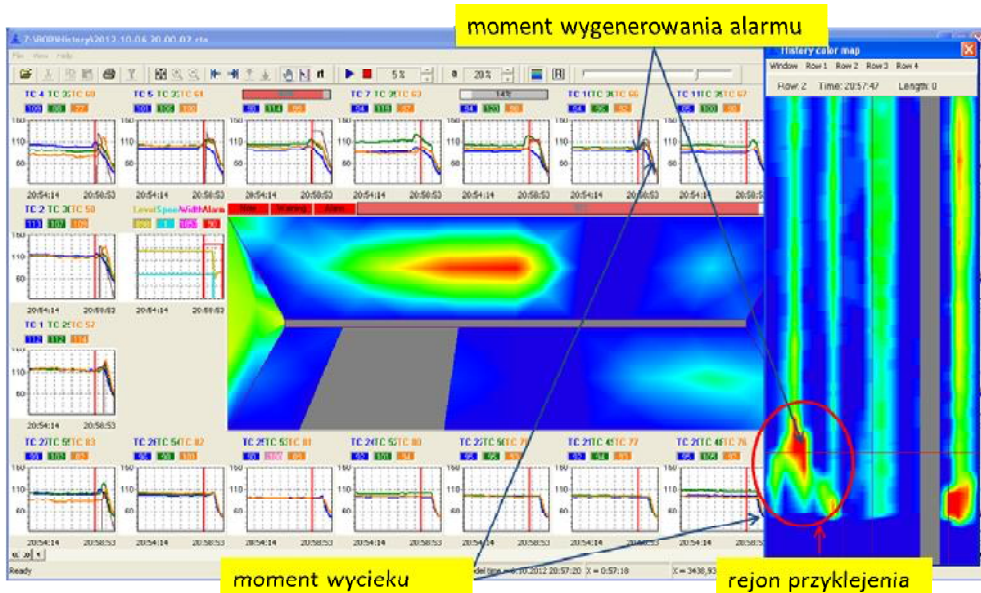
Ze względu na niską skuteczność działania systemu BPS firmy SMS (słaba zdolność wykrywania przyklejeń, duża ilość tzw. fałszywych alarmów brak narzędzia do analizy danych) zdecydowano się wymienić system przewidywania wycieków na nowy – jako główne kryterium przyjęto wysoką wykrywalność wycieków (powyżej 95%) i niski poziom fałszywych alarmów, nie bez znaczenia pozostawał też ograniczony budżet inwestycji w związku z tym aby maksymalnie ograniczyć wydatki postanowiono pozostawić układ termopar w niezmienionej formie natomiast zastosować nowe oprogramowanie z dedykowanymi mu komputerami. Z tak ograniczonymi kryteriami wybór nie był łatwy. Jedną z metod oceny dostawców było sprawdzenie działania ich systemu za pomocą oprogramowania symulującego z dostarczonych danych historycznych, które należało

zdekodować gdyż oryginalny system SMS zapisuje dane w wewnętrznej formie. Poniżej pokazano przykład wskazań termopar z wycieku z dnia 6.10.2012 – wyciek nie został wykryty przez system BPS SMS. Ten sam wyciek został rozpoznany przez oprogramowanie systemu Martine firmy EBDS na 15 sekund przed wyjściem z krystalizatora, choć graficzna wizualizacja mogłaby pozwolić operatorowi na wcześniejsze rozpoznanie zagrożenia i reakcję.



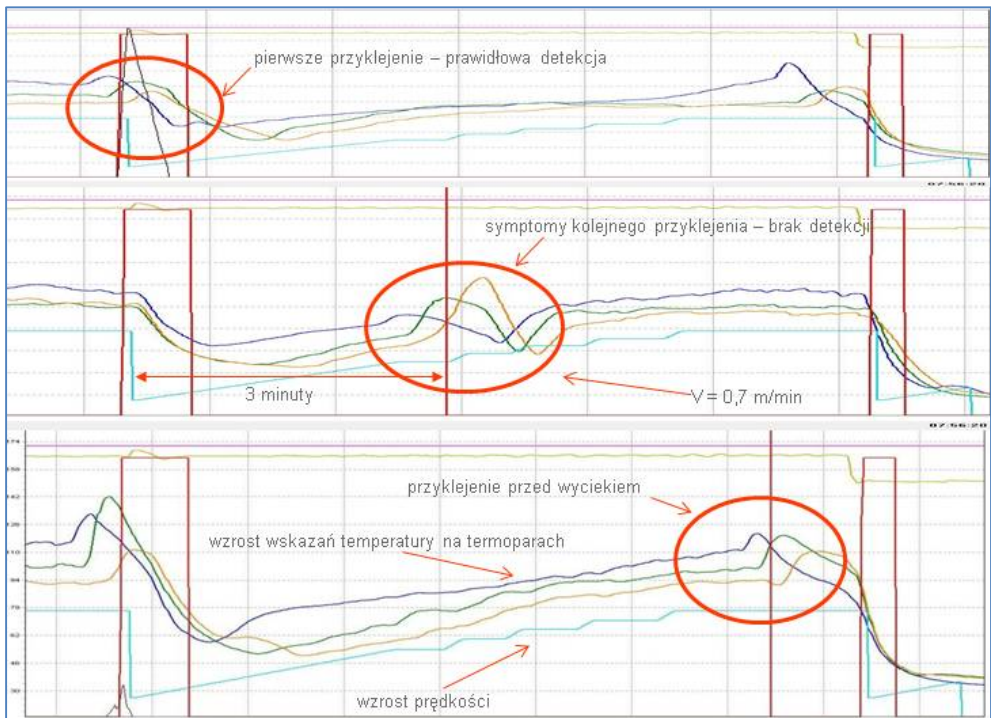
Rysunek 13. Fragment wizualizacji: po lewej BPS SMS – z prawej Martine EBDS.

Najskuteczniejsze na próbach symulacyjnych okazało się oprogramowanie firmy Ingeteam wykrywając zdarzenie 31 sekund przed wyjściem z krystalizatora. System Argus firmy INGETEAM został zainstalowany na maszynie COS 3 i po wstępnej analizie pracy w dniu 1.11.2013. nastąpiło pełne uruchomienie i rozpoczęcie testów gwarancyjnych.

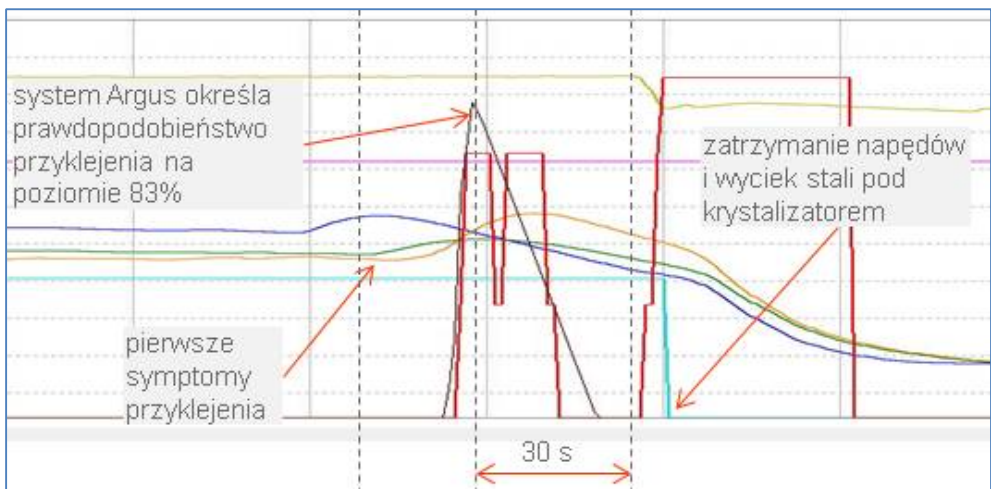


Rysunek 14. Wyciek z dnia 6.10.2012 wykryty przez program Argus firmy Ingeteam.

W celu określenia skuteczności działania systemu Argus i porównania z do tej pory używanym systemem przeprowadzono modyfikację w systemie sterowania - system BPS firmy SMS został ustawiony w stan monitoringu pozwalający na rejestrowanie alarmów o przyklejeniu bez wysyłania sygnału o zwolnieniu prędkości. Oba systemy wykrywania przyklejeń pracują więc równolegle ale tylko system Argus posiada funkcjonalność wpływająca na pracę maszyny (zwalnianie prędkości w przypadku zagrożenia wyciekami). Do chwili obecnej miały miejsce dwa wycieki spowodowane przyklejeniem. Pierwszy z nich był skutkiem serii przyklejeń – pierwsze przyklejenie zostało wykryte przez system Argus prawidłowo (Rysunek 15), kolejne przyklejenia nie zostały przez system wychwycone. System BPS SMS w trakcie tych zdarzeń był niesprawny i nie generował alarmów. Drugi wyciek również nie został wykryty przez żaden z systemów choć Argus obliczył prawdopodobieństwo wycieku na poziomie 83% - od poziomu 90% generowany jest alarm zwolnienia (Rysunek 16).



Rysunek 15. Wskazania termopar i reakcja systemu Argus podczas wycieku spowodowanego serią przyklejeń.



Rysunek 16. Przyklejenie/wyciek nie wykryte przez system Argus.

5. Podsumowanie

Stosowanie systemu wykrywania przyklejeń i zapobiegania wyciekom może przynosić dobre efekty pod warunkiem utrzymywania układu termopar w należytej sprawności i dostosowaniu algorytmów systemu do specyfiki pracy określonej maszyny COS. Każdy wyciek powinien zostać szczegółowo przeanalizowany (także pod kątem ewentualnych przyczyn wystąpienia) a system wykrywania wycieków powinien umożliwić analizę i dopasowywanie algorytmów dla poprawy efektywności działania. Po każdym z opisanych wycieków na maszynie COS3 logika systemu Argus podlegała modyfikacjom w celu usprawnienia jej reakcji – ostatnia modyfikacja miała miejsce 4.02.2014 i od tego momentu nie wystąpił wyciek spowodowany przyklejeniem. Po zainstalowaniu systemu Argus w znacznym stopniu obniżyła się ilość fałszywych alarmów. W I kwartale 2014 ilość wybraku spowodowanego wadą typu niespaw (przerwa w laniu), która spowodowana jest w większości nieprawidłowym działaniem systemu wykrywania przyklejeń wyniosła 0,27% a w analogicznym okresie 2013 roku 1,27%.

Literatura:

- [1] Level 2 System Manual for Mold Monitoring System- SMS Demag AG,
- [2] Mold Thermocouple Issues Topical Roundtable – Cleveland, OH - November 7-8, 2011,
- [3] K. Cherif, M. Niederlaender - State of the art of sticking detection systems of Western Europe ArcelorMittal Steel Plants,
- [4] <http://www.dca.it/home.aspx>,
- [5] <http://www.siemens.com/entry/industry/cc/en/>
- [6] <http://www.sert-metal.com/>

Andrzej Gołdasz*

WPLYW EKРАНOWANIA NA TEMPERATURĘ SZYN WALCOWANYCH W WALCARCE NAWROTNEJ

W pracy przedstawiono model matematyczny wymiany ciepła w czasie chłodzenia szyn walcowanych na gorąco w walcierce nawrotnej. Analizowano wpływ zastosowania ekranów cieplnych na temperaturę walcowanych szyn. Model wymiany ciepła pasma osłoniętego ekranem opracowano dla ekranu zbudowanego z dwóch warstw metalowych przedzielonych warstwą izolacyjną. Modelowano ekrany wykonane z blachy stalowej i aluminiowej. Jako materiał izolacyjny przyjęto warstwę saffilu. Obliczenia wykonano Autorskim oprogramowaniem z wykorzystaniem metody elementów skończonych.

Słowa kluczowe: ekrany cieplne, walcowanie szyn, metoda elementów skończonych.

INFLUENCE OF THE RADIATION SHIELD ON THE TEMPERATURE OF RAILS ROLLED IN THE REVERSING MILL

The paper presents a mathematical model of heat transfer during cooling of hot-rolled rails in the reversing mill. The influence of the radiation shield on the temperature of rolled rails has been analyzed. The heat transfer model for cooling a strip covered by the thermal shield has been presented. The two types of shields build of steel and aluminum sheets separated with insulating layer have been studied. Calculations have been performed with self developed software which utilizes the finite element method.

Keywords: radiation shields, rolling of rails, finite element method.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, email: agoldasz@metal.agh.edu.pl

Tomasz Kargul*, Ewa Wielgosz*, Jan Falkus*

ZASTOSOWANIE WYNIKÓW BADAŃ ANALIZY TERMICZNEJ W OBLICZENIACH NUMERYCZNYCH PROCESÓW ODLEWANIA STALI

Pomiar właściwości termofizycznych stali możliwy jest dzięki wykorzystaniu różnych technik analizy termicznej. W metalurgii największe zastosowanie znalazły różnicowa analiza termiczna (DTA) oraz różnicowa kalorymetria skaningowa (DSC). W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości termofizycznych koniecznych do przeprowadzenia symulacji numerycznej procesu ciągłego odlewania stali. Badania wykonano dla dwóch gatunków stali S320GD i S235JR. Głównym celem badań było wyznaczenie funkcyjnej zależności ciepła właściwego analizowanych gatunków stali od temperatury. Na podstawie przeprowadzonych badań określono również efekty cieplne przemian fazowych oraz charakterystyczne temperatury przemian. Zarówno ciepło właściwe stali jak i efekty cieplne przemian fazowych wchodzi w skład równania Fouriera-Kirchhoffa, jako właściwości materiałowe konieczne do uzyskania rozwiązania numerycznego. W pracy przedstawiono metodykę badań, analizę uzyskanych wyników oraz sposób wyznaczania ciepła właściwego stali w oparciu wyniki analizy DSC.

Słowa kluczowe: analiza termiczna, ciepło właściwe stali, entalpia przemian fazowych, ciągłe odlewanie stali.

APPLICATION OF THERMAL ANALYSIS TESTS RESULTS IN THE NUMERICAL SIMULATIONS OF CONTINUOUS CASTING PROCESS

Measurement of thermophysical properties of steel is possible by using different thermal analysis techniques. In the field of metallurgy the most relevant methods are Differential Thermal Analysis (DTA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC). The paper presents the results of thermophysical properties which are necessary to carry out numerical simulation of continuous casting of steel. The study was performed for two steel grades S320GD and S235JR. The main aim of the research was to determine the dependence of specific heat on temperature. On the basis of obtained results the thermal effects of phase transformations and characteristic transition temperatures were also identified. Both the specific heat of steel and thermal effects of phase transformations are included in the Fourier-Kirchhoff equation, as the material properties necessary to obtain the numerical solution. The paper presents the research methodology, analysis of results and method of determining the specific heat of steel based on the results of DSC analysis.

Keywords: thermal analysis, specific heat, enthalpy of phase transitions, continuous casting of steel.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, email: tkargul@agh.edu.pl

Krzysztof Konopka*, Katarzyna Miłkowska-Piszczek*, Lechosław Trębacz*, Jan Falkus*

POPRAWA WYDAJNOŚCI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH SYMULACJI COS POPRZEZ WYKORZYSTANIE PRZETWARZANIA RÓWNOLEGŁEGO

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących możliwości zastosowania przetwarzania równoległego w celu skrócenia czasu trwania obliczeń numerycznych symulacji procesu ciągłego odlewania stali. Analizie poddano wydajność obliczeń dla modelu COS obejmującego krystalizator i fragment pasma pod krystalizatorem. Obliczenia przeprowadzono przy pomocy pakietu oprogramowania ProCAST z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Wykorzystano dwa środowiska obliczeniowe: infrastrukturę PL-Grid oraz chmurę obliczeniową opartą o rozwiązanie Open Source zbudowaną na potrzeby prowadzenia badań.

Słowa kluczowe: ciągłe odlewanie stali, wydajność obliczeń numerycznych, numeryczne modelowanie, ProCAST

IMPROVING EFFICIENCY OF CCS NUMERICAL SIMULATIONS THROUGH USE OF PARALLEL PROCESSING

The results of investigations relating the possibility of using parallel processing to reduce the computation time of numerical simulation of continuous casting of steel were presented in the paper. Efficiency of calculations for the numerical model of mold and fragment of strand was analyzed. Calculations were performed using the ProCAST software package and finite element method. Two computing environments were used: the PL-Grid infrastructure and cloud computing solution based on Open Source software.

Keywords: continuous casting of steel, efficiency of numerical calculations, numerical modelling, ProCAST

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, email: kkonopka@agh.edu.pl

Katarzyna Miłkowska-Piszczek*, Marcin Rywotycki*, Jan Falkus*, Krzysztof Konopka*

PORÓWNANIE MODELI OPISUJĄCYCH WYMIANĘ CIEPŁA W PIERWOTNEJ STREFIE CHŁODZENIA MASZYNY COS

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących wyznaczenia termicznych warunków brzegowych dla procesu ciągłego odlewania stali w obszarze strefy pierwotnego chłodzenia. Analizie poddano wlewek płaski o wymiarach 1100 x 220 mm. W obliczeniach porównano modele opisane w literaturze wraz z modelem własnym. Zaprezentowane modele zweryfikowano na podstawie przemysłowej bazy danych. Zadanie zostało rozwiązane metodą elementów skończonych z zastosowaniem pakietu oprogramowania ProCAST.

Słowa kluczowe: ciągłe odlewanie stali, współczynnik wymiany ciepła, numeryczne modelowanie, ProCAST.

COMPARISON OF HEAT TRANSFER MODELS DESCRIBING THE PRIMARY COOLING ZONE IN CONTINUOUS CASTING MACHINE

The results of investigations relating the determination of thermal boundary conditions for continuous casting of steel were presented in the paper. Slab dimensions 1100 x 220 mm was analyzed. In numerical calculations a few models from literature were compared. The presented models were verified on basis of industrial data base. The problem was solved by the finite element method and commercial numerical packet ProCAST.

Keywords: continuous casting of steel, heat transfer coefficient, numerical modelling, ProCAST.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, email: kamilko@agh.edu.pl

Szymon Ostafin*

**SPOSOBY ZAPOBIEGANIA PRZENOSZENIA ŻUŻLA POMIĘDZY
KOLEJNYMI ETAPAMI PRODUKCJI SLABÓW W CYKLU PRODUKCYJNYM
ZAKŁADU WIELKIE PIECE I STALOWIA KRAKÓW**

Prezentacja przedstawia metody zapobiegania przedostawania się żużla pomiędzy kolejnymi etapami produkcji stali w krakowskiej Stalowni. Począwszy od odsiarczania surówki poprzez odcięcie żużla w trakcie spustu z konwertora do metod odcięcia żużla w trakcie odlewania na maszynie COS. Prezentacja przedstawia technologię i urządzenia wspomagające redukcję zanieczyszczeń oraz ich wpływ na czystość stali.

***METHODS HOW TO AVOID SLAG TRANSMISSION BETWEEN EACH STEPS
DURING SLAB PRODUCTION IN BLAST FURNACE AND STEEL PLANT
KRAKÓW***

Presentation contains methods how to avoid slag transmission between each steps during slab production in Blast Furnace and Steel Plant Kraków. From desulfurization station, by slag cutting during steel tap from BOF to the methods of slag detection on Continuous Casting Machine. Presentation shows technology and equipment to support slag reduction and improve the steel quality.

* ArcelorMittal Poland S.A, Oddział w Krakowie, ul. Ujastek 1, 30-969 Kraków, email: szymon.ostafin@arcelormittal.com

Jacek Pieprzycza*, Zdzisław Kudliński*, Tomasz Merder*

WPLYW NIEJEDNORODNOŚCI PÓL TEMPERATURY W KADZI POŚREDNIEJ NA STRUKTURĘ PIERWOTNĄ WLEWKÓW CIĄGŁYCH

Tworzenie się struktury pierwotnej wlewków ciągłych jest bardzo złożonym, pod względem termodynamicznym i fizyko-chemicznym procesem. Zachodzi on w trakcie krzepnięcia i krystalizacji ciekłej stali w krystalizatorze i strefie wtórnego chłodzenia urządzenia COS. Na podstawie doświadczeń uzyskanych z praktyki przemysłowej oraz wiedzy wynikającej z teorii krzepnięcia metali i ich stopów można stwierdzić, że istotny wpływ na postać struktury pierwotnej wlewków ciągłych ma temperatura przegrzania ciekłej stali ponad temperaturę likwidus oraz prędkość krzepnięcia. Właściwa regulacja tych parametrów odlewania umożliwia uzyskiwanie wlewków o wymaganej strukturze pierwotnej. O ile w urządzeniach jednożyłowych i dwużyłowych symetrycznych taka regulacja nie stwarza większych problemów to w urządzeniach wielożyłowych, a szczególnie niesymetrycznych następuje szereg problemów. W tego typu urządzeniach mogą wystąpić znaczne różnice temperatury w poszczególnych strefach wylewowych przestrzeni roboczej kadzi pośredniej, spowodowane np. zróżnicowaniem długości drogi dotarcia strumienia ciekłej stali z punktu wlewowego do poszczególnych wylewów i niekorzystnym układem stref przepływu ciekłej stali (strefy przepływu turbulenta, tłokowego i stref martwych) w przestrzeni roboczej kadzi pośredniej. Szczególnie dużych wartości tych różnic można się spodziewać w kadziach niesymetrycznych.

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych - modelowych i przemysłowych dotyczących wpływu temperatury przegrzania ciekłej stali oraz niejednorodności pól temperaturowych w kadzi pośredniej na strukturę pierwotną wlewków stalowych.

* Politechnika Śląska, Instytut Technologii Metali, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8

Jacek Pieprzycza*, Tomasz Merder*, Jan Jowša**

METODA WYZNACZANIA STAŁYCH CZASOWYCH CHARAKTERYZUJĄCYCH INTENSYWNOŚĆ MIESZANIA SIĘ STALI W KADZI POŚREDNIEJ URZĄDZENIA COS

Powszechną metodą, stosowaną w identyfikacji zjawisk hydrodynamicznych zachodzących w kadzi pośredniej urządzenia COS jest wyznaczenie krzywych czasu rezydencji RTD. Krzywe te umożliwiają określenie sposobu przepływu i mieszania się ciekłej stali w kadzi pośredniej. Mogą one być wyznaczone zarówno metodami numerycznymi jako wynik symulacji numerycznych, jak i w sposób eksperymentalny jako wynik badań na modelach fizycznych. Szczególny problem stanowi ich obiektywizacja w przypadku badań fizycznych. Konieczne jest wówczas precyzyjne wyznaczenie stałych czasowych charakteryzujących badane zjawiska na podstawie danych uzyskanych z pomiaru zmiany stężenia znacznika w objętości cieczy modelowej. Matematyczny opis wyznaczonych krzywych opiera się na złożonych równaniach różniczkowych sformułowanych w teorii mechaniki płynów. Rozwiązywanie tych równań, w celu wyznaczenia wspólnianych stałych czasowych, wymaga specjalistycznego oprogramowania oraz jest czasochłonne. Aby usprawnić ten proces opracowano sposób wyznaczenia stałych czasowych z wykorzystaniem metodę elementów automatyki.

Słowa kluczowe: modelowanie fizyczne, przepływy płynów, krzywe RTD.

METHOD OF DETERMINING TIME CONSTANTS WHICH CHARACTERIZE INTENSITY OF STEEL MIXING IN CC DEVICE'S TUNDISH

A common method used in identification of hydrodynamics phenomena occurring in CC device's tundish is to determine the RTD curves of time. These curves allows to determine the way of the liquid steel flowing and mixing in the tundish. These can be identified either with numerical methods - as the result of numerical simulation or by the experiments - as the result of researching the physical models. Special problem is to objectify it while conducting physical research. It is necessary to precisely determine the time constants which characterize researched phenomena basing on the data acquired in the measured change of the concentration of the tracer in model liquid's volume. The mathematical description of determined curves is based on the approximate differential equations formulated in the theory of fluid mechanics. Solving these equations to calculate the time constants requires a special software and it is very time-consuming. To improve the process a method was created to calculate the time constants with use of automation elements.

Key words: physical modelling, flow of fluids, RTD curves.

* Politechnika Śląska, Instytut Technologii Metali, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8

** Politechnika Częstochowska, Katedra Ekstrakcji i Recyrkulacji Metali, 42-200 Częstochowa, ul. Armii Krajowej 19

Marcin Rywotycki*, Zbigniew Malinowski*, Katarzyna Miłkowska-Piszczek*, Andrzej Gołdasz*, Beata Hadała*

WPLYW MODELU RADIACYJNEJ WYMIANY CIEPŁA POMIĘDZY POWIERZCHNIAMI PŁASKIMI NA POLE TEMPERATURY NA PRZYKŁADZIE KRYSTALIZATORA COS

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu radiacyjnej wymiany ciepła z zastosowaniem różnych modeli do wyznaczenia warunków brzegowych dla procesu ciągłego odlewania stali w obszarze strefy pierwotnego chłodzenia. Analizie poddano wlewki płaski o wymiarach 1280 x 220 mm. W obliczeniach wykorzystano wybrane zależności opisujące wymianę ciepła przez promieniowanie. Przedstawiono wyniki symulacji oraz ich analizę. Zaprezentowane modele zweryfikowano na podstawie przemysłowej bazy danych. Zadanie zostało rozwiązane metodą elementów skończonych z zastosowaniem autorskiego pakietu numerycznego.

Słowa kluczowe: ciągłe odlewanie stali, współczynnik wymiany ciepła, numeryczne modelowanie, MES.

THE INFLUENCE OF THE MODEL OF RADIATIVE HEAT TRANSFER BETWEEN FLAT SURFACES ON THE TEMPERATURE FIELD BASED ON AN EXAMPLE OF THE CONTINUOUS CASTING MOULD

The paper presents the results of research concerning the influence of radiative heat transfer at the strand and mould interface. The four models for determining the heat transfer boundary conditions within the primary cooling zone for the continuous casting process of steel have been presented. A cast slab – with dimensions of 1280 x 220mm – has been analysed. Models describing the heat transfer by radiation have been specified and applied in the numerical calculations. The problem has been solved by applying the finite element method and the self developed software. The simulation results, along with their analysis, have been presented. The developed models have been verified based on the data obtained from the measurements at the industrial facility.

Keywords: continuous casting of steel, heat transfer coefficient, numerical models.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, email: rywotyc@agh.edu.pl

Jarosław Skorupa*

CASTEMP® - KORZYŚCI STOSOWANIA CIĄGŁEGO POMIARU TEMPERATURY W KADZI POŚREDNIEJ

We współczesnej praktyce stalowniczej, w trakcie procesu ciągłego odlewania stali, wykorzystywane są dwie techniki bezpośredniego ciągłego pomiaru temperatury ciekłej stali w kadzi pośredniej. Do pomiarów wykorzystywany jest czujnik zanurzony przez warstwę żużla (Contitherm®, Conti-Lance®) lub czujnik zabudowanym przez ścianę lub dno kadzi pośredniej (CasTemp®). Każda z tych technik pomiaru i stosowane wyposażenie różnią się szczegółami technicznymi i sposobem eksploatacji, ale wszystkie wnoszą szereg korzyści do praktyki kontrolowania procesu ciągłego odlewania. Do najważniejszych korzyści można zaliczyć zdecydowaną poprawę bezpieczeństwa pracy, pełną kontrolę przebiegu procesu pod względem temperatury, możliwość wprowadzenia automatyzacji w większym zakresie i redukcję kosztów odlewania stali. Technika pomiaru czujnikiem CasTemp®, zabudowanym przez ścianę kadzi pośredniej, stała się już przemysłowym standardem i na jej przykładzie omówione szerzej zostaną najważniejsze korzyści płynące ze stosowania pomiaru ciągłego w kadzi pośredniej. Zaprezentowane przykłady opracowane zostały z uwzględnieniem tylko rzeczywistych danych, z wielu stalowni, które stosują pomiar ciągły w praktyce odlewniczej maszyny COS.

CASTEMP® - **BENEFITS** FOR USING CONTINUOUS TEMPERATURE MEASUREMENT IN TUNDISH

Two different measurement techniques are used for continuous temperature measurement in tundish in modern steelmaking. They involve either immersing a sensor through the slag steel interface (Contitherm® and Conti Lance®) or method involve building the sensor into the tundish though its side wall or bottom (CasTemp®). Each of those two techniques, with some technical and application and hardware differences between them, bring number of benefits to improve control over continuous casting of liquid steel. The most important goes for drastic work safety improvement, extended control over temperature profile during casting, possibility for automation and conditions for extra cost savings. Use of CasTemp® through the wall sensor already become industrial standard and continuous measurement benefits will be presented based on this specific sensor model. References are made to various Steel Works as examples of the considerations for using continuous temperature measurement and the benefits to be achieved

1. Wprowadzenie

Historycznie, pierwszym w serii czujnikiem do ciągłego pomiaru temperatury ciekłej stali w kadzi pośredniej był Contitherm®, montowany nad kadzią i zanurzany w ciekłej stali od góry, przez warstwę zasypki. Potwierdzona została wtedy możliwość prowadzenia

* Heraeus Electro-Nite Polska Sp. z o.o., ul. Kombajnistów 2, 41-200 Sosnowiec, Polska, email: jaroslaw.skorupa@heraeus.com

dokładnego i wiarygodnego pomiaru temperatury w sposób ciągły, w trakcie procesu odlewania, również możliwość bardziej bezpośredniego sterowania procesem. Jednak rozwiązanie to, nie wyeliminowało istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy problemów koniecznej obecności operatora w najbliższym sąsiedztwie ciekłej stali, konieczności manipulowania ciężkim czujnikiem oraz wpływu żużla / zasypki w kadzi pośredniej na erozję osłony ogniotrwałej czujnika. Ta metoda posiada również pewne ograniczenia co do dokładnej kontroli temperatury w ważnych momentach sekwencji odlewania – zmiana kadzi odlewniczej (obniżenie poziomu stali w kadzi pośredniej).

Czujniki i systemy pomiarowe CasTemp® (Rysunek 1.), charakteryzują się dużą dokładnością pomiaru temperatury i jej reprezentatywnością w kontekście rzeczywistej temperatury odlewania stali, umożliwiają korzystanie z informacji o mierzonej temperaturze w układach sterowania maszyny COS, znacząco podnoszą poziom bezpieczeństwa operatorów i praktycznie eliminują ich zaangażowania w nadzór nad pomiarem temperatury w kadzi pośredniej. Możliwe stało się również wykorzystanie tych czujników do celów pomiaru temperatury w trakcie operacji suszenia i wygrzewania kadzi pośredniej, badania temperatury początku krzepnięcia stali.

Najważniejsze z powodów, dla których pomiar ciągły uznawany jest za lepsze rozwiązanie dla pomiaru temperatury ciekłej stali w kadzi pośredniej niż pomiary kontrolne czujnikami jednorazowego użytku, to:

- Zdecydowana poprawa bezpieczeństwa pracy,
- Bezpośrednia, bieżąca i wiarygodna kontrola przebiegu procesu odlewania w zakresie, gdzie temperatura ciekłej stali jest parametrem krytycznym,
- Możliwość wykorzystania sygnału z czujnika CasTemp® w układach automatyki i sterowania maszyny COS,
- Warunki dla obniżenia kosztów bezpośrednich i pośrednich związanych z procesem ciągłego odlewania stali.



Rysunek 1. Podstawowe części składowe systemu CasTemp® – przyrząd pomiarowy Conti-Lab i zabudowany czujnik CasTemp®.

2. Zalety i korzyści wynikające z zastosowania pomiaru ciągłego temperatury - w ujęciu praktycznym

2.1. Bezpieczeństwo pracy obsługi maszyny COS

Jednym z priorytetów w trakcie eksploatacji maszyny COS jest bezpieczna praca i jak najdalej posunięte eliminowanie obecności operatorów w obszarze kadzi pośredniej z ciekłym metalem. Zastosowanie systemu do pomiaru ciągłego – szczególnie CasTemp[®], eliminuje potrzebę obecności operatorów maszyny celem dokonywania pomiaru temperatury stali w kadzi pośredniej, skraca czas narażenia operatorów na pozostawanie w sąsiedztwie ciekłego metalu. Większa jest również dyspozycyjność obsługi dla innych czynności niezbędnych do wykonania w trakcie procesu odlewania.

Wykorzystanie w układzie sterowania szybkością odlewania maszyny COS, informacji z czujnika do pomiaru ciągłego, jest kluczowym parametrem umożliwiającym płynne, automatyczne sterowanie szybkością odlewania, zwykle znacząco ograniczając rolę operatora do kontroli tego parametru procesu odlewania.

Czujnik CasTemp[®] jest ponadto źródłem informować dla obsługi maszyny COS o tym, że zawartość kadzi po zakończeniu procesu odlewania jest już w stanie stałym i transport kadzi pośredniej jest bezpieczny. Zmiany temperatury zakończenia procesu odlewania są łatwe do zidentyfikowania na wykresie przebiegu temperatury procesu odlewania.

Zabudowa czujnika w kadzi, jest prowadzona w trakcie „zimnych” operacji przygotowania kadzi, zwykle z dala od miejsc obróbki ciekłej stali.

2.2. Kontrola procesu odlewania i eksploatacja maszyny COS

Zabudowany w kadzi czujnik, jest przygotowany do wykorzystania już w trakcie procesu suszenia i wygrzewania kadzi przed odlewaniem, rejestruje temperaturę w sposób bardziej miarodajny niż inne systemy montowane w układach suszenia / wygrzewania kadzi pośrednich.

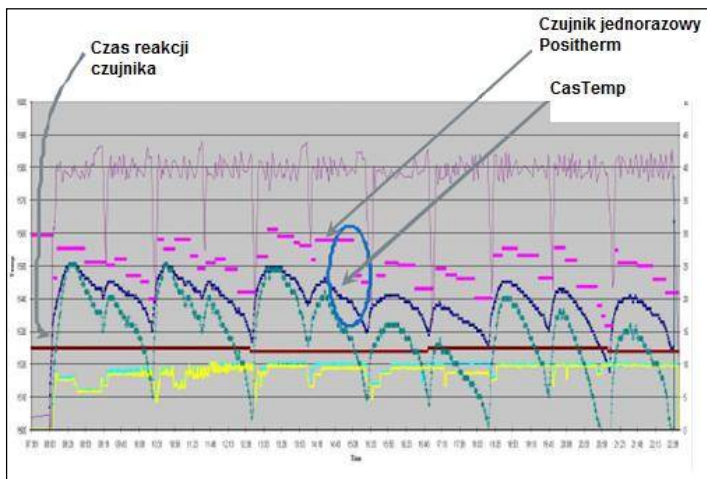
W trakcie zmiany kadzi w sekwencji, poziom metalu w kadzi pośredniej obniża się, mamy do czynienia z szybszym spadkiem temperatury ciekłej stali, jest jednym z krytycznych momentów procesu odlewania, w którym rośnie ryzyko wystąpienia zakłóceń procesu odlewania zwykle związanych z nieznaną dokładną wartością temperatury ciekłego metalu. CasTemp[®] jest jedynym rozwiązaniem technicznym, które pozwala na dokładny pomiar temperatury przy obniżającym się poziomie metalu, obserwację o trendu zmian i wspomaga podejmowanie decyzji z uwzględnieniem relacji temperatura stali – poziom stali w kadzi – szybkość odlewania. Szybkość odlewania jest kolejnym z parametrów, który dzięki dokładnej kontroli temperatury, może być sterowany automatycznie w tak kluczowym momencie jakim jest zmiana kadzi w sekwencji. Ma to szczególnie znaczenie w sytuacjach kiedy pojawiają się zakłócenia wpływu stali z kadzi odlewniczej do kadzi pośredniej – np. skutek niskiej temperaturą stali w kadzi. W trakcie procesu odlewania, znacząco lepiej można kontrolować i maksymalizować szybkość odlewania, zarządzać harmonogramem procesu odlewania, wymiany kadzi itd.

System CasTemp[®] może rejestrować temperaturę ciekłego metalu aż do całkowitego opróżnienia kadzi pośredniej – moment krzepnięcia stali jest łatwy do zidentyfikowania na wykresie przebiegu temperatury.

Informacja z systemu CasTemp[®] jest również wykorzystywana do prognozowania możliwości pojawienia się sytuacji awaryjnych związanych z temperaturą stali w kadzi pośredniej – np. zamarznięcia wylewów, kiedy temperatura staje się zbyt niska lub

przerwaniom żył, gdy temperatura jest znacznie wyższa niż pożądana. Układy automatycznej kontroli i sterowania procesem, mogą wizualizować przebieg zmian temperatury, identyfikację trendu zmian, podnosząc skuteczność i jakość kontroli procesu.

Wyeliminowana zostaje potrzeba jakiegokolwiek obsługi systemu pomiaru temperatury ciekłego metalu w trakcie procesu odlewania.



Rysunek 2. Lepsza kontrola procesu z zastosowaniem systemu CasTemp® - sekwencja składająca się z 11 kadzi; pomiary dokonywane czujnikiem jednorazowego użytku i systemem CasTemp®.

Pomiar kontrolny czujnikiem jednorazowego użytku Positherm® informuje o chwilowej wartości temperatury, nie informuje o trendzie zmiany temperatury rejestrowanej za pomocą systemu CasTemp® (Rysunek 2.)

2.3. Poprawa wskaźników efektywności procesu przygotowania metalu do odlewania i samego procesu odlewania

Jedną z najważniejszych zalet płynących ze stosowania dokładnego pomiaru temperatury stali w kadzi pośredniej jest możliwość ograniczenia stopnia przegrzania stali w kadzi odlewniczej, odlewania z temperaturą bliską temperaturze likwidusu i w efekcie uzyskanie efektu zmniejszenia zużycia energii w procesie przygotowania stali do odlewania. W efekcie, organizacja procesu odlewania, sterowanie szybkością odlewania, zarządzania wymianą kadzi w trakcie sekwencji, są łatwiejsze do optymalizacji dla danych warunków prowadzenia procesu.

Proces przygotowania stali do procesu odlewania może być prowadzony bardziej stabilnie, w sposób powtarzalny, gdy zachodzi możliwość weryfikacji jakości pomiaru kontrolnego wykonywanego w trakcie procesu przygotowania stali za pomocą czujnika jednorazowego użytku, przez pomiar ciągły w trakcie odlewania – znacząco dokładniej określana jest np. stabilność termiczna wytopu w kadzi odlewniczej. Analizują różne parametry dotyczące np. historii użycia kadzi – ilość wytopów, czas przebywania metalu w kadzi, czas obróbki i jej efektywność, wykorzystanie do procesu próżniowego odgazowania

- sterowanie procesem może być doskonałe i uwzględniać wszelkie możliwe sytuacje technologiczne.

Dla wybranych urządzeń COS, dane z systemu CasTemp[®], są również wykorzystane do precyzyjnego sterowania w układach chłodzenia pasma i jego wstępnej redukcji.

3. Wybrane zagadnienia optymalizacji kosztów procesu odlewania.

Wieloletnie doświadczenia użytkowników systemu CasTemp[®], pozwalają na przygotowanie dość szczegółowej analizy tych czynników kosztowo-twórczych, które mogą być optymalizowane dzięki dokładnemu pomiarowi temperatury w kadzi pośredniej maszyny COS. Najważniejsze z nich to:

3.1. Koszty materiałów - inwestycja

Wśród kosztów, które muszą być poniesione na wdrożenie pomiaru ciągłego są te, związane z przygotowaniem kadzi pośrednich do zamontowania czujnika, koszty systemów pomiarowych wraz z akcesoriami, oraz zabudowy systemów pomiarowych i ich połączenia z układami automatyki maszyny COS. Koszty instalacji są kosztami zwykle o charakterze jednorazowym i nie są znacząco wyższe od kosztów systemów do pomiarów kontrolnych czujnikami jednorazowego użytku. Koszty utrzymania sprawności technicznej systemów są również porównywalne. Koszty eksploatacji systemu CasTemp[®], uwzględniając koszty czujników, znakomicie maleją ze wzrostem ilości wytopów odlewanych w sekwencji.

3.2. Koszty przerwania pasma – zmniejszenie kosztów

Znajomość dokładnej temperatury stali w trakcie odlewania – szczególnie jeśli jest wyższa niż pożądana i jej wykorzystanie do sterowania podstawowymi parametrami procesu (szybkość odlewania, poziom stali w kadzi pośredniej), tworzy warunki do ograniczenia niebezpieczeństwa przerwania pasma w trakcie odlewania. Przerwanie pasma, to jedna z najbardziej kosztownych awarii notowanych w warunkach maszyny COS. Zwykle, do sumy kosztów takiej awarii zalicza się: koszty zużytej energii (na przygotowania stali do odlewania), koszty naprawy maszyny COS, koszty uszkodzonego osprzętu, koszt nieodlanej stali w kadzi pośredniej, koszty robocizny oraz koszty związane z zagrożeniem bezpieczeństwa pracy wskutek powstania sytuacji awaryjnej.

3.3. Ograniczenie zwrotu stali z maszyny COS – zmniejszenie kosztów

Zgodnie z posiadanym zasobem informacji od użytkowników systemu CasTemp[®] szacuje się, że dzięki stosowaniu systemu ciągłego pomiaru temperatury, możliwe jest ograniczenie zwrotów w ilości ok. 10% - w tych sytuacjach, kiedy problem leży po stronie temperatury stali w kadzi. Straty powodowane przez zwrot stali są szczególnie dotkliwe dla sfery efektywności produkcji i oczywiście kosztów operacyjnych stalowni. I tu ponownie, dokładna informacja o temperaturze ciekłego metalu pozwala na podejmowanie decyzji o przyspieszeniu odlewania wtedy, gdy temperatura metalu jest niższa od pożądanej - dając szansę na maksymalne opróżnienie kadzi odlewniczej i wcześniejsze otwarcie kolejnej kadzi w sekwencji.

3.4. Optymalizacja szybkości odlewania, uzysku i wykorzystania energii

Większość aplikacji systemu CasTemp[®], wykazuje jednoznacznie, że możliwe jest

obniżenie stopnia przegrzania stali, co z kolei może prowadzić do zwiększenia szybkości odlewania i maksymalizacji wydajności maszyny COS w jednostce czasu, w danych warunkach. Mniejsze przegrzania metalu, to bezpośrednie ograniczenie zużycia energii w trakcie obróbki stali w warunkach pieca kadziowego i mniejsza emisja CO₂. Ponadto, informacja z systemu CasTemp[®] ma charakter informacji „wyprzedzającej”, wskazującej trendy ułatwiającej bieżące sterowanie procesem odlewania.

Wskazania temperatury w końcowej fazie odlewania są ważną informacją, gdyż sprzyjają osiągnięciu maksymalnego stopnia opróżnienia kadzi pośredniej z metalu. Zwykle możliwe jest kilkuprocentowe zwiększenie uzysku metalu.

4. Podsumowanie

Wdrożenie ciągłego pomiaru temperatury, szczególnie z zastosowaniem systemu CasTemp[®], umożliwia dokładną kontrolę temperatury ciekłego metalu, eliminuje szereg problemów związanych z eksploatacją systemów do pomiaru ciągłego, pozwala na zastosowania danych z pomiaru w układach automatyki i sterowania maszyny COS.

System CasTemp[®] znajduje zastosowanie we wszelkich instalacjach ciągłego odlewania stali, a dzięki zabudowie czujnika w trakcie przygotowania kadzi pośredniej do odlewania, korzystanie z czujnika staje się możliwe już w trakcie suszenia i wygrzewania kadzi pośredniej, w trakcie procesu odlewania, aż do zakończenia odlewania i odczytania temperatury likwidus w momencie zakończenia sekwencji.

Mała bezwładność czujnika CasTemp[®] wpływa pozytywnie na bieżącą identyfikację trendu zmiany temperatury, pozwala na wyprzedzające decyzje dotyczące sterowania szybkością odlewania, procesem przygotowania metalu do odlewania, organizacją obrotu kadziami.

Literatura

Materiały własne Heraeus Electro-Nite

Wojciech Ślęzak*, Marta Korolczuk-Hejnak*, Piotr Migas*

WYSOKOTEMPERATUROWE POMIARY REOMETRYCZNE ZASYPEK KRYSZALIZATOROWYCH

Zagadnienia lepkości oraz właściwości reologicznych zasypek krystalizatorowych są ważne z punktu widzenia modelowania, a także sterowania rzeczywistymi procesami technologicznymi w odniesieniu do procesu ciągłego odlewania stali. Z przeprowadzonej analizy literaturowej wynika, że istnieje wiele teoretycznych rozważań nad zjawiskiem lepkości ciekłych roztworów zasypek krystalizatorowych. Celem niniejszej pracy było wykonanie pomiarów reologicznych zasypek krystalizatorowych, w pracy zawarto wyniki badań siedmiu składów chemicznych o zawartości węgla od 5,0 do 10,7 % przy zastosowanych prędkościach ścinania od 10 do 40 s⁻¹, odpowiadającym prędkościom rzeczywistym wynikającym z prędkości odlewania oraz oscylacji krystalizatora.

Słowa kluczowe: zasypki krystalizatorowe, lepkość, reologia, reometr.

HIGH TEMPERATURE RHEOMETRIC MEASUREMENTS OF MOULD POWDERS

Issues of viscosity and rheological properties of powder moulds are important from the perspective of content from 5.0 to 10.7 % and which were tested with applied shear rates from 10 to 40 s⁻¹, which are similar to those in a real process: the velocity of strand passes/drawing and mould movements.modelling, along with the control of continuous casting process. Conducted analysis within subject literature indicates that there are many theoretical considerations concerning the effects of viscosity of powder moulds. The objective of this study was to perform rheological measurements of powder moulds, the study contains the results of rheological tests of seven chemical compositions with a carbon content from 5.0 to 10.7 % and which were tested with applied shear rates from 10 to 40 s⁻¹, which are similar to those in a real process: the casting velocity and mould oscillations.

Keywords: powder moulds, viscosity, rheology, rheometer.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, email: wslezak@agh.edu.pl

Katja Vrbeč*, Metod Marolt*, Martin Debelak**, Jakob Lamut***, Matjaž Knap***

CHANGES IN HYDROGEN CONTENT DURING STEELMAKING

Štore Steel produces steel grades for spring, forging and engineering industry applications. Steelmaking technology consists of scrap melting in Electric Arc Furnace (EAF), secondary metallurgy in Ladle Furnace (LF) and continuous casting of billets (CC). Hydrogen content during steelmaking of various steel grades and steelmaking technologies was measured. Samples of steel melt from EAF, LF and CC were collected and investigated. Sampling from Electric Arc Furnace and Ladle Furnace was carried out using vacuum pin tubes. Regular measurements of hydrogen content in steel melt were made using Hydrys device. Hydrogen content results measured in tundish by Hydrys device were compared with results from pin tube samples. Based on the measurement results it was established that hydrogen content during steelmaking increases. The highest values were determined in tundish during casting. Factors that influence the hydrogen content in liquid steel the most were steelmaking technology and alloying elements.

Keywords: hydrogen content, pin tubes, tundish, deoxidation.

* Štore Steel, Štore, Slovenia

** Chamber of Commerce and Industry of Slovenia, Ljubljana, Slovenia

*** Department of Materials and Metallurgy, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Slovenia

Marek Warzecha*, Tomasz Merder**, Piotr Warzecha*

METODY RANS I LES A STRUKTURA PRZEPLYWU W KADZI POŚRENIEJ

Struktura przepływu ciekłej stali w kadzi pośredniej ma bardzo istotny wpływ na warunki odlewania, a tym samym na jakość wyrobu końcowego. W celu określenia struktury przepływu w kadzi oraz analizy jej wpływu na warunki pracy urządzenia do ciągłego odlewania stali (COS) prowadzone są liczne badania modelowe: fizyczne i numeryczne.

W modelowaniu numerycznym, wybór odpowiedniego modelu turbulencji jest kluczowy, ponieważ ma ogromny wpływ na strukturę przepływu płynu w analizowanym obiekcie badawczym. Do tej pory, największą ilość symulacji numerycznych przeprowadzono z wykorzystaniem metody RANS (Reynolds-averaged Navier–Stokes equations). W przypadku tej metody dostajemy jednak jedynie informacje o uśrednionych wartościach przepływu turbulentnego, z jakim mamy do czynienia w kadziach pośrednich. W prezentowanej pracy natomiast, przedstawiono wyniki symulacji numerycznych przeprowadzonych z wykorzystaniem metody wielkich wirów (Large Eddy Simulation, LES) i porównano je z wynikami RANS. W obu przypadkach, symulacje numeryczne zostały przeprowadzone z wykorzystaniem komercyjnego kodu Ansys Fluent.

INVESTIGATION OF THE FLOW STRUCTURE IN THE TUNDISH WITH THE USE OF RANS AND LES METHODS

The liquid steel flow structure in the tundish has a very substantial effect on the quality of the final product and on efficient casting conditions. Numerous model studies are being carried out to explain the effect of the tundish working conditions on casting processes.

It is necessary to analyze the structure of liquid steel flow, which is strongly supported with numerical modeling. In numerical modeling, a choice of a proper turbulence model is crucial as it has a great impact on the flow structure of the fluid in the analyzed test facility. So far most numerical simulations has been done using RANS method (Reynolds-averaged Navier–Stokes equations) but in that case one get information about the averaged values of the turbulent flow. In presented study, numerical simulations using large eddy simulations (LES) method were used and compared to RANS results. In both cases, numerical simulations are carried out with the finite-volume commercial code Ansys Fluent.

Keywords: tundish, continuous casting, numerical modeling.

* Department of Metals Extraction and Recirculation, Czestochowa University of Technology, Al. Armii Krajowej 19, 42-201 Czestochowa, Poland

** Silesian University of Technology, Institute of Metals Technology, Krasinskiego 8, 40-019 Katowice, Poland

Notatki

Notatki

Notatki

Notatki

Notatki

Notatki