



AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA
im. Stanisława Staszica
w Krakowie



**WYDZIAŁ INŻYNIERII METALI
I INFORMATYKI PRZEMYSŁOWEJ**

Prof. dr hab. inż. Andrzej Łędzki
Dr inż. Andrzej Michaliszyn
Dr inż. Arkadiusz Klimczyk

METALURGIA EKSTRAKCYJNA ŻELAZA

CZĘŚĆ IV

TLENOWE PROCESY KONWERTOROWE

/do użytku wewnętrznego AGH/

Kierunek: Metalurgia, Rok: II, Semestr: IV

I. TLENOWE PROCESY KONWERTOROWE

Od wielu lat zainteresowania metalurgów szły w kierunku opracowania metody, która łączyłaby dużą wydajność z lepszą jakością stali. W ten sposób zastąpiono mało ekonomiczne piece martenowskie konwertorami tlenowymi. W listopadzie 1952 roku uruchomiono w austriackiej miejscowości Linz pierwszą stalownię konwertorową z dmuchem tlenowym. W rok później podobną stalownię uruchomiono w miejscowości Donawitz. Znany dziś powszechnie skrót „proces LD” tłumaczy się obecnie jako pochodzący od pierwszych liter wymienionych miejscowości. Na początku próbowano go jednak wywodzić od słów: „Linzer Düsenverfahren”, co w swobodnym tłumaczeniu oznacza: „pochodząca z Linzu technologia z zastosowaniem dysz”. Tlenowy proces konwertorowy od momentu powstania zrobił zawrotną karierę, już w 1970 roku prawie 40% światowej produkcji stali otrzymywano tą metodą. Jako wręcz podręcznikowy uznaje się udział produkcji stali konwertorowej w stosunku do produkcji globalnej na poziomie 80%. Udział ten wynika z bilansu złomu i trudno przewidywać w najbliższych latach zmiany światowych trendów w tym zakresie.

Proces LD polega na wdmuchiowaniu lanca tleny przez gardziel konwertora. Zwany jest też procesem konwertorowym z górnym dmuchem tlenowym. Inne rozwiązanie dmuchu w procesach konwertorowych to dmuch dolny. Najbardziej znanymi odmianami są: proces OBM (Oxygen-Bodenblasen-Maxhütte) zastosowany po raz pierwszy w RFN, Q-BOP (Quick, Basic-Oxygen-Proces) stosowany w USA oraz proces LWS, który został opracowany i wdrożony do produkcji we Francji. Wspólną cechą tych procesów jest zastosowanie dwuprzelotowych dysz cylindrycznych. Dysze zabudowane są w dennicy i składają się z dwóch współosiowo ułożonych rur. Rurą środkową wykonaną z miedzi wdmuchuje się tlen do kąpieli metalowej, a stalową rurą zewnętrzną doprowadza się medium chłodzące do stref pierwotnych reakcji. W charakterze medium chłodzącego stosuje się parę wodną, olej opałowy lub gazowe węglowodory. Wprowadzone media chłodzące pod wpływem temperatury ulegają termicznej dysocjacji, pochłaniając ciepło odsuwają od wyłożenia ogniotrwałego wysokotemperaturową strefę pierwotnych reakcji.

Zarówno konwertory z górnym dmuchem jak i dolnym posiadają szereg zalet i wad, które scharakteryzowano poniżej:

a) Konwertor z dmuchem górnym

| <i>Zalety</i> | <i>Wady</i> |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. Względnie prosta eksploatacja.2. Wysoka wydajność. | <ol style="list-style-type: none">1. Słabe mieszanie kąpieli (zwłaszcza w zakresie niskich stężeń węgla).2. Słaba jednorodność temperatury i składu, brak równowagi termodynamicznej metal-żużel.3. Duże straty utleniania żelaza związane z wysoką zawartością tlenu w stali i wysoką temperaturą żużla.4. Ograniczone odwęglanie do zawartości C \approx 0,02%5. Duże wyrzuty i straty w dymach. |

b) Konwertor z dmuchem dolnym

| <i>Zalety</i> | <i>Wady</i> |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. Silne mieszanie.2. Duża jednorodność temperatury i składu chemicznego kąpieli.3. Wysokie odfosforowanie i odsiarczanie oraz dobre wykorzystanie tlenu.4. Małe straty utleniania żelaza i niski poziom tlenu w stali.5. Możliwość odwęglania do ekstremalnie niskich zawartości węgla (C = 0,004%) | <ol style="list-style-type: none">1. Konieczność zaawansowanego sterowania automatycznego i technologii pomiarów.2. Ograniczona trwałość dennicy.3. Pewna trudność w uzyskaniu końcowych stężeń węgla w przypadku stali wysokowęglowych. |

Celem dalszych badań było poszukiwanie procesu, który wykorzystałby zalety procesów z górnym i dolnym dmuchem. Na bazie doświadczeń z konwertorami typu OBM, Q-BOP i inne, przeprowadzone zostały pierwsze próby w 6 Mg konwertorze doświadczalnym z wdmuchiowaniem gazu obojętnego przez dno konwertora podczas i po świeżeniu kąpieli metalowej tlenem z góry. Technologia ta następnie udoskonalona przez IRSID i ARBED pod nazwą LBE (Lance-Bubbling-Equilibrium), od początku lat osiemdziesiątych znalazła zastosowanie w szeregu stalowniach konwertorowo- tlenowych. Tak zrodził się pomysł dmuchu kombinowanego. W firmie Thyssen już w latach siedemdziesiątych badano w konwertorze LD wdmuchiwanie gazów obojętnych poprzez dennicę. Stosowano różne gazy, takie jak: argon, azot, dwutlenek węgla, osobno lub w postaci mieszanek gazowych

częściowo wzbogacanych tlenem aż do zawartości 10%. Zmieniano również ilość wdmuchiwanego gazów w granicach od około 0,003 do 0,3 Nm³/Mg.min. Do początku 1982 roku wprowadzono proces TBM (Thyssen-Blas-Metallurgie) we wszystkich konwertorach koncernu stalowego Thyssen Stahl AG. Konwertor z dmuchem kombinowanym łączy w sobie zarówno zalety procesów z górnym i dolnym dmuchem. W sposób bardzo ogólny można je następująco scharakteryzować:

- duże polepszenie jednorodności składu chemicznego i temperatury kąpeli metalowej, przy względnie małej ilości gazu wdmuchiwanego od dołu,
- możliwość wytwarzania stali o niskiej i wysokiej zawartości węgla,
- umiarkowane koszty przebudowy istniejących konwertorów z górnym dmuchem.

Spośród wielu wariantów dmuchu kombinowanego do najważniejszych występujących należą rozwiązania polegające na:

podawanie tlenu z góry i z dołu,

podawanie tlenu z góry i gazów obojętnych od dołu,

podawanie tlenu od dołu i dodatkowego tlenu wdmuchiwanego w przestrzeń nad kąpielą.

Wariant pierwszy obejmuje przypadki, w których tlen niezbędny do procesu rafinacji wprowadzany jest od góry poprzez lancę tlenową, pozostała ilość tlenu dostarczana jest do kąpeli metalowej poprzez urządzenia dolnego dmuchu zamontowane w dennicy. Tlen wdmuchiwany od dołu intensyfikuje również mieszanie kąpeli metalowej.

W wariacie drugim cała ilość tlenu potrzebnego do świeżenia wprowadzana jest przez lancę górnego dmuchu, natomiast poprzez urządzenia zabudowane w dennicy wprowadzane są obojętne gazy mieszające.

Wariant trzeci stanowi grupę procesów konwertorowych, w których tlen do świeżenia wprowadzany jest od dołu konwertora, natomiast w przestrzeń nad kąpielą dostarczany jest tlen w celu dopalenia części gazów konwertorowych i zwiększenia sprawności energetycznej procesu.

Dalsze etapy rozwoju dmuchu kombinowanego sprawiły, że wraz z dmuchem doprowadzano inne substancje (materiały żużlotwórcze, płynne i gazowe węglowodory, węgiel), co sprawiło, że powstało wiele nowych odmian procesów konwertorowych, które różnią się od siebie:

- sposobem doprowadzania dolnego dmuchu,
- intensywnością mieszania,
- sposobem dostarczania materiałów żużlotwórczych i węgla,

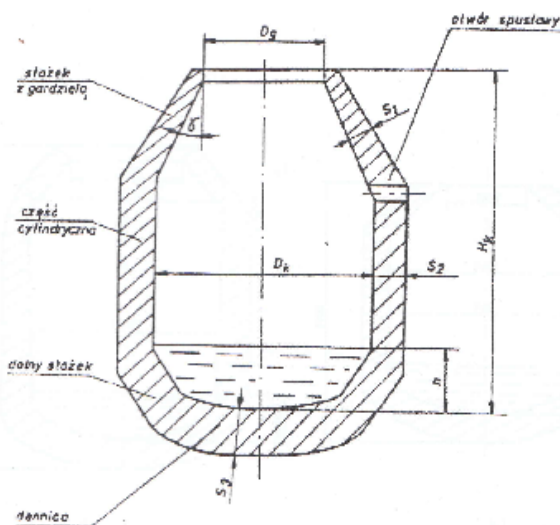
- środkami stosowanymi w celu zwiększenia udziału złomu we wsadzie (lance dopalające, wdmuchiwanie paliw, podgrzewanie złomu).

Zalety dmuchu kombinowanego spowodowały, że praktycznie nikt w świecie nie buduje dziś konwertorów z dmuchem górnym, a istniejące jeszcze konwertory LD są przebudowywane na dmuch kombinowany. Tak też stało się w Polsce, gdzie w 1996 roku w Hucie im.T.Sendzimira trzy 140 Mg konwertory LD przebudowano na dmuch kombinowany TMB. Podobnie postąpiono w Hucie Katowice S.A. gdzie w pod koniec lat dziewięćdziesiątych, spośród trzech 350 Mg konwertorów LD, dwa przebudowano na technologię TBM.

1. Budowa konwertora

Profil budowanych obecnie konwertorów tlenowych różni się coraz bardziej od dawnych konwertorów z dolnym dmuchem. Profil konwertora zmieniał się również ze zmianą pojemności. Widoczna jest tendencja do spadku smukłości konwertora wraz ze wzrostem pojemności.

Wymiary konwertorów powinny odpowiadać aerodynamicznej charakterystyce strumienia tlenu. Objętość konwertora powinna być dostateczna dla pochłonięcia wtórnej (odbitej) energii kinetycznej strumienia tlenu i dla zapobiegania wyrzutom metalu z konwertora. Dlatego ważnym parametrem konwertora jest *objętość właściwa* przestrzeni roboczej, która zdefiniowana jako stosunek objętości przestrzeni roboczej konwertora do masy wsadu metalicznego winna wynosić 0,8 – 1,0 m³/ Mg. Przy mniejszej objętości właściwej zwiększa się ilość wyrzutów metalu. Natomiast nadmierne zwiększanie objętości właściwej zwiększa zużycie materiałów ogniotrwałych i zwiększa koszty inwestycyjne. Konwertory o dużej pojemności będą bezspornie korzystniejsze wszędzie tam, gdzie przy dużym zapotrzebowaniu stali istnieje ujednolicony program gatunków stali. Tam, gdzie produkuje się stal w szerokim asortymencie gatunków i wytapia stale stopowe a także stale węglowe specjalne, będą stosowane konwertory o pojemnościach mniejszych. Budowa czy też wymiana konwertora wiąże się z ogromnymi kosztami. Dlatego bardzo często huty decydują się na modernizację i udoskonalanie pracujących już jednostek.



Rys.1. Przekrój konwertora tlenowego.

Podstawowymi parametrami konstrukcyjnymi konwertora są (rys.1):

- wewnętrzna średnica części cylindrycznej D_k ,
- wewnętrzna wysokość konwertora H_k ,
- głębokość uspokojonej kąpieli h ,
- wewnętrzna średnica gardzieli D_g ,
- kąt nachylenia stożka z gardzielią γ .

Na podstawie danych eksploatacyjnych a także badań pracujących konwertorów wprowadzono również szereg podstawowych wskaźników. Oprócz wcześniej zdefiniowanej objętości właściwej konwertora do głównych wskaźników należą:

- smukłość konwertora,
- strumień dmuchu na jednostkę masy kąpieli,
- wskaźnik zużycia materiałów ogniotrwałych.

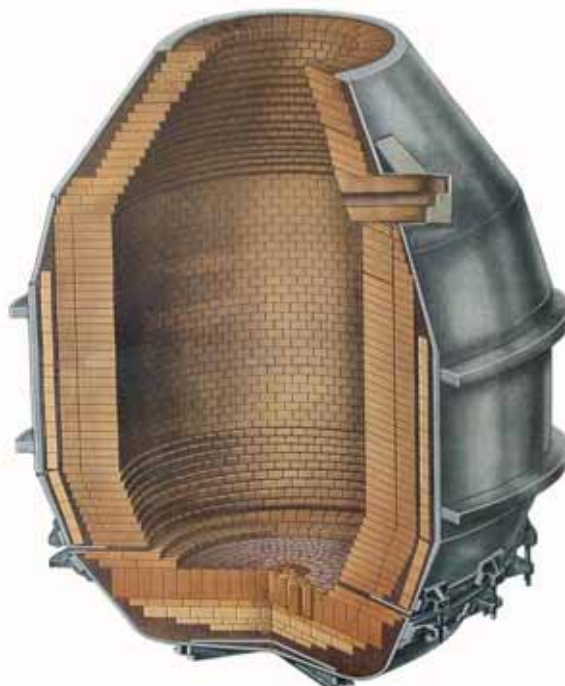
Wymiary geometryczne i konstrukcja konwertora tlenowego determinują prawidłowość przebiegającego w nim procesu. Niektóre wymogi stawiane poszczególnym elementom konstrukcyjnym konwertora pozostają we wzajemnej sprzeczności, ich właściwy dobór ma duże znaczenie przy projektowaniu nowych jednostek. Typowym przykładem takich sprzeczności jest średnica gardzieli. Z jednej strony średnica gardzieli winna być możliwie mała by minimalizować straty ciepła i metalu związane z wyrzutami, z drugiej strony musi być zagwarantowana możliwość odprowadzenia gazów odlotowych.

Porównanie konwertorów, niezależnie od ich pojemności umożliwiają dwa wskaźniki. Są to smukłość konwertora i objętość właściwa. *Smukłość konwertora* zdefiniowana jest jako stosunek wewnętrznej wysokości konwertora H_k do wewnętrznej średnicy części cylindrycznej D_k . Po uwzględnieniu wielu doświadczeń konwertory posiadają smukłość rzędu: 1,4 – 1,7. Z punktu widzenia minimalnych strat ciepła optymalna smukłość konwertora winna wynosić 1,0, jednak wtedy wzrosłyby straty związane z wyrzutami. Dotyczy to szczególnie małych i średnich konwertorów.

Pancerz konwertora.

Pancerz konwertora niezależnie od rodzaju dmuchu składa się z sferycznej dennicy, cylindrycznej części środkowej oraz stożkowej gardzieli (rys.2) Kształt taki wynika z

Konwertor



Rys.2. Pancerz konwertora wraz z wyłożeniem ogniotrwałym

potrzeb technologicznych procesu, a także z zakresu prac wykonywanych w czasie budowy. Wykonuje się go techniką spawaną z blach stalowych z niestarczących się stali o grubości 30-100 mm. Na pancerz w czasie pracy działają naprężenia termiczne i mechaniczne.

Dennice konwertorów mogą być na stałe połączone z cylindryczną częścią pancerza lub odemowane. Dennice odemowane stosowane są w średnich i małych konwertorach i charakteryzują się następującymi zaletami:

- szybsze wystudzenie zużytego wyłożenia przed remontem,

- lepsza organizacja prac remontowych (możliwość podawania materiałów od dołu),
- możliwość wymiany wyłożenia dennicy poza konwertorem,
- skrócenie czasu remontu.

Dennice odejmowane można szybko zdejmować jak i zakładać dzięki połączeniom sworzniowym. Charakteryzują się dużą trwałością.

W konwertorach o dużej pojemności w większości stosuje się dennice na stałe połączone z cylindryczną częścią pancerza, gdyż trudno byłoby osiągnąć szczelne połączenie dennicy ze ścianami, a to groziłoby wyciekami metalu z konwertora. Dennice stałe są dospawane do cylindrycznej części konwertora.

Dennice są wykonane techniką spawaną z blach o grubości do 50 mm i niezależnie od rodzaju (odejmowane czy stałe) mają kształt sferyczny.

Cylindryczną część środkową konwertora wykonuje się z blach giętych lub tłoczonych o grubości do 100 mm, a grubość blach zależy od rodzaju zastosowanego pierścienia oporowego. Cylindryczna część środkowa konwertora jest opasana pierścieniem oporowym, który może być zdejmowany lub na stałe połączony z pancerzem. Przy stałym pierścieniu oporowym blachy, z których wykonana jest cylindryczna część środkowa są grubsze. W przy stałych pierścieniach oporowych czopy dopasowane są bezpośrednio do pancerza. Takie rozwiązanie jest tańsze jednak szybciej ulegają deformacji na skutek przegrzania i niemożliwością swobodnej rozszerzalności cieplnej. Może to być przyczyną powstawania znacznych naprężeń w pancerzu, odkształceń i pęknięć. Odkształcenia konstrukcji mogą spowodować przesunięcie osi czopów i uszkodzenie łożysk. Dlatego częściej stosowane są pierścienie zdejmowane. Zdejmowane pierścienie oporowe, dzięki szczelinie między pancerzem a szczeliną pozwalają na swobodne rozszerzanie się pancerza pod wpływem obciążeń termicznych. Ma on najczęściej kształt prostokątny, w dużych konwertorach składany jest z segmentów. Chłodzenie wodne pierścienia ma dodatkowo zmniejszyć skutki oddziaływania temperatury.

Cylindryczna część środkowa konwertora z dołu jest połączona z dennicą a z góry z gardzielą.

Gardziel konwertorów jest obecnie symetryczna i wykonana z giętych blach stalowych o grubości do 50 mm. Symetryczny kształt gardzieli umożliwia dokonywanie spustu stali i żużła z obu stron konwertora. W gardzieli znajduje się otwór spustowy, który dla łatwiejszego oddzielenia żużła od stali podczas spustu znajduje się u podstawy gardzieli. Dawniej otwór

spustowy był pod kątem, obecnie otwór spustowy w celu możliwie dokładnego oddzielenia żużła od stali podczas spustu, jest poziomy.

Stożkowy kształt gardzieli ogranicza wyrzuty metalu i żużła z konwertora a także zmniejsza straty cieplne oraz ogranicza zasysanie powietrza do układu odprowadzającego gazy odlotowe. Gardziel narażona jest na działanie gorących gazów odlotowych, ciekłego metalu i żużła oraz dodatkowych naprężeń związanych ze zrywaniem skrzepów. Dlatego do pancerza gardzieli mocowane są śrubami dodatkowe ochronne płyty stalowe.

Czopy zamocowane w pierścieniu oporowym pozwalają na usadowienie konwertora poprzez łożyska i podpory na fundamencie. Zapewniają także możliwość przechyłu konwertora.

Mechanizm przechyłu konwertora

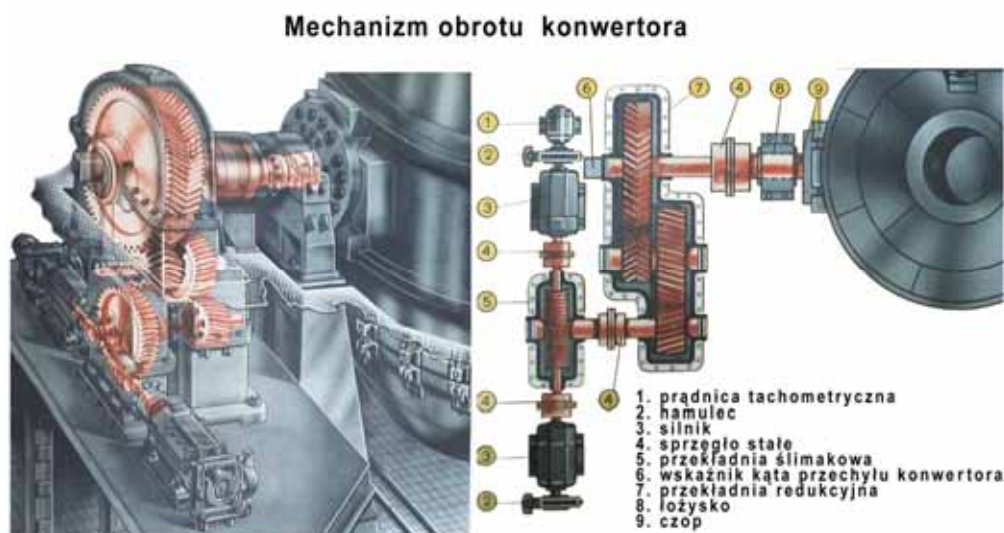
Przeznaczony jest do przechylania konwertora o kąt niezbędny do:

- ładowania złomu,
- wlewania surówki,
- spuszczenia stali i żużła,
- pobierania prób, itp.

Szybkość obrotowa konwertora wynosi:

- 0,1 obr/min - przy spuście stali i żużła
- 1-1,5 obr/min - przy pozostałych operacjach technologicznych

W konwertorach o pojemności do 150 Mg stosuje się *jednostronny mechanizm przechyłu z dwoma silnikami elektrycznymi /rys.3/* a w konwertorach dużych mechanizm dwustronny / po 2 silniki napędowe na każdym czopie. Napędzanie każdego czopa zmniejsza moment skręcający działający na pierścień oporowy/. W konwertorach bardzo dużych stosowany jest jednostronny wielosilnikowy planetarny mechanizm.



Rys.3. Jednostronny mechanizm przechyłu konwertora

Na konwertor działają obciążenia statyczne i dynamiczne. Obciążenia statyczne pochodzą od masy pancerza, wyłożenia ogniotrwałego, masy metalu i żużla. Określają one wielkość momentu niezbędnego do przechylenia konwertora /iloczyn masy i ramienia momentu/. Oś obrotu konwertora musi znajdować się powyżej środka ciężkości, by nie nastąpił samoczynny jego obrót.

Obciążenia dynamiczne występują w czasie ładowania i obracania konwertora, dmuchania tlenu. Mogą być kilkakrotnie większe od obciążeń statycznych i dlatego mechanizm obrotu musi mieć zapas wytrzymałości.

Wyłożenie ogniotrwałe konwertora

Głównym zadaniem wyłożenia ogniotrwałego konwertora jest zapewnienie całkowitego bezpieczeństwa przy realizacji procesu oraz zachowanie ciągłości produkcji. Dawniej wyłożenie ogniotrwałe konwertorów wykonane było z jednego gatunku wyrobów (głównie dolomitowych, magnezytowych). W pierwszych konwertorach tlenowych LD stosowano dobór materiałów ogniotrwałych wzorowany na piecach martenowskich. Warstwę roboczą konwertora wykonywano z surowych kształtek dolomitowych wiązanych smołą, które w cylindrycznej części konwertora układano w dwóch kolejnych warstwach. Ułożenie kształtek magnezytowych w warstwie ochronnej dało tylko nieznaczne polepszenie. Kształtki magnezytowe umieszczone w warstwie wewnętrznej ulegały podczas podgrzewania pękaniu i odłamywaniu. Nie uzyskano więc oczekiwanej trwałości wyłożenia.

Obecnie wyłożenia ogniotrwałe konwertorów tlenowych wykonywane są najczęściej z materiałów najwyższej jakości: magnezytowych, magnezytowo-węglowych, rzadziej dolomitowych.

Materiały dolomitowe i magnezytowe.

Dolomit należy do surowców węglanowych, jest on podwójnym węglanem wapnia i magnezu. Do produkcji wyrobów dolomitowych stosuje się dolomit występujący w przyrodzie jako minerał $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ prażony w temperaturze 1600-2000°C. W czasie prażenia zostaje usunięty CO_2 , zaś mieszanina $\text{CaO}\cdot\text{MgO}$ spieka się na niskoporowaty klinkier. Teoretycznie czysty dolomit zawiera 55,3% CaO i 44,7% MgO . Prażony dolomit posiada skłonność do hydratacji, której ulega zawarty w nim tlenek wapnia. Im wyższy jest stopień spieczenia dolomitu, tym większa jest jego odporność na działanie wilgoci. Dobrze spieczony dolomit powinien wykazywać gęstość pozorną w granicach 3,0-3,2 g/cm^3 .

Dolomit wiązany smołą jest najmniej kosztownym materiałem ogniotrwałym do konwertorów tlenowych. Klinkier dolomitowy najpierw jest rozdrabniany, mieszany ze smołą lub pakiem a następnie prasowany pod wysokim ciśnieniem. Lepiszczce to pokrywa ziarna dolomitu, tworząc cienką warstwę chroniącą je przed działaniem wilgoci.

Wyroby magnezytowe otrzymuje się między innymi z naturalnych skał węglanowych, jakimi są magnezyty krystalicznie czyste lub bezpostaciowe. Pierwsze z nich są zanieczyszczone przez CaO , FeO a drugie przez SiO_2 . Wydobyty surowy kamień wymaga ogromnego nakładu pracy przy sortowaniu, obróbce i płukaniu. Magnezyty poddawane są prażeniu w temperaturze 1600-1800°C, następnie po usunięciu CO_2 spieka się uzyskując klinkier peryklazowy.

Wyroby magnezytowe można otrzymać również na drodze chemicznej z wody morskiej lub wód słonych jezior zawierające w 1 litrze około 2 g magnezu w postaci chlorku lub siarczanu magnezu. Tlenek magnezu otrzymywany jest tu przez wydzielanie MgO przy pomocy wysokiej czystości alkali.

Klinkier peryklazowy ze skał węglanowych nazywany jest klinkierem magnezytowym, zaś otrzymywany z wody morskiej klinkierem magnezjowym. Klinkier z magnezytów naturalnych zawiera 85-94% MgO , 1-8% Fe_2O_3 , 0,5-4% CaO i 1-10% SiO_2 . Klinkier magnezjowy zawiera nawet do 99% MgO oraz 0,2-5% Fe_2O_3 , 0,6-4,5% CaO , 0,6-2,3% SiO_2 oraz 0,03-0,2% B_2O_3 . Ten ostatni okazał się być bardzo szkodliwym topnikiem tworzącym z CaO i MgO niskotopliwe eutektyki i związki, co uniemożliwiało otrzymywanie wyrobów najwyższej jakości. Zmusiło to producentów magnezji z wody morskiej do

opracowania metod usuwania B_2O_3 tak aby w klinkierze jego zawartość nie przekraczała 0,03%.

Duży wpływ na jakość wyrobów magnezytowych ma stosunek CaO/SiO_2 od niego bowiem zależy jakie połączenia powstają w wysokich temperaturach. Jeżeli ten stosunek jest mniejszy od 1,87 (ciężarowo), wówczas tworzy się merwinit i/lub monticellit. Duża ich zawartość powoduje obniżenie temperatury początku mięknięcia tworzywa wyrobów nawet do 1500-1550°C.

Dolomit i magnezyt mogą być wiązane zarówno smołą jak i pakiem. Smoła jest źródłem węgla mającego za zadanie wiązanie cząstek przy podwyższonych temperaturach oraz niedopuszczenie do penetracji żuźla w głąb kształtki. Jest też przejściowym lepiszczem w stanie surowym, w ograniczony sposób chroni ziarna przed hydratacją.

Zaletami wyrobów dolomitowych są:

- możliwość tworzenia topników wapna,
- możliwość zmniejszenia oddziaływania korozji materiałów ogniotrwałych, gdyż chronią one wyłożenie ogniotrwałe, jednakże dolomit musi mieć odpowiednią reakcyjność.

Wady wyrobów dolomitowych:

- skłonność dolomitu do hydratacji,
- posiadanie zanieczyszczeń typu SiO_2 i Al_2O_3 , które obniżają ogniotrwałość.

Zaletami wyrobów magnezytowych są:

- bardzo wysoka ogniotrwałość zwykła,
- wysoka przewodność cieplna, malejąca ze wzrostem temperatury,
- odporność na działanie reagentów zasadowych,
- szeroki zakres roztworów stałych z tlenkiem Fe.

Wadami natomiast są:

- niewielka odporność na zmiany temperatury,
- podatność na hydratację.

Materiały magnezytowo-węglowe

Materiały ogniotrwałe węglowo-tlenkowe stosowane w hutnictwie żelaza zachowują się znacznie lepiej niż inne materiały (np. magnezytowe z lepiszczem smołowym, wypalane impregnowane kształtki magnezytowe itp.). Jest to wynikiem ich szczególnych właściwości: wysokiej ogniotrwałości, bardzo dobrej przewodności cieplnej, dobrej odporności na wstrząsy

cieplne, dobrych parametrów mechanicznych oraz wysokiej odporności na korozję. Właściwości swe zawdzięczają specyficznym cechom substancji węglowej jakimi są: nierozpuszczalność w cieczy żuźlowej i niezwilżalność, ograniczają infiltrację reagentów w głąb wyłożenia. Szybkość korozji tych wyrobów będzie zależeć od szybkości utleniania się składnika węglowego i tworzenia się na ich powierzchni warstwy odwęglonej.

Głównymi składnikami materiałów magnezytowo-węglowych są magnezyt spieczony lub stopiony elektrycznie, naturalny grafit w płatkach i spoiwo organiczne, najlepiej na bazie żywicy syntetycznej.

Własności kilku odmian materiałów magnezytowo-węglowych, zawierających od 10 do 20% grafitu zestawiono w tabelicy.

Typowe własności kształtek magnezytowo-węglowych bez dodatków

| Własności | jednostki | Materiał magnezytowo-węglowy | | | |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| | | A | B | C | D |
| Skład mineralogiczny: | | | | | |
| - grafit | % | 10 | 17 | 20 | 20 |
| - magnezyt topiony | % | - | - | - | 50 |
| Skład chemiczny: | | | | | |
| - MgO | % | 87 | 80,3 | 77,3 | 77,8 |
| - pozostałe C | % | 9,5 | 16,7 | 19,7 | 19,7 |
| Własności fizyczne: | | | | | |
| - gęstość pozorna | g/cm ³ | 2,93 | 2,84 | 2,82 | 2,86 |
| - porowatość otwarta | % | 4 | 4 | 4 | 4 |
| - wytrzymałość na ściskanie na zimno | N/mm ² | 45 | 40 | 38 | 38 |
| - umowne naprężenie przy złamaniu – 1400°C | N/mm ² | 6 | 5 | 5 | 5 |
| - współczynnik rozszerzalności cieplnej | 10 ⁻⁶ K ⁻¹ | 11,8 | 10,8 | 10,3 | 10,3 |
| - przewodność cieplna 700°C | W/mK | 13,8 | 18,7 | 20,1 | 20,2 |

Czynniki niszczące wyłożenie ogniotrwałe

Wyłożenie ogniotrwałe konwertora narażone jest na działanie różnorodnych, niekorzystnych czynników. Wyróżnia się trzy zasadnicze grupy oddziaływania na wyłożenie ogniotrwałe konwertora:

- oddziaływania chemiczne,
- oddziaływania termiczne,
- oddziaływania mechaniczne.

Oddziaływania chemiczne.

Bardzo istotną rolę w zuzywaniu się wyłożeń konwertorów odgrywają procesy korozyjne, w których udział biorą składniki żużla, pyłów i wyrzutów, a także środowisko gazowe. Żużel utworzony w początkowym stadium świeżenia jest żużlem kwaśnym, który zubożnia się mniej lub szybciej w czasie dmuchania, rozpuszczając wprowadzone wapno. Magnezytowy materiał ogniotrwały poddany działaniu żużla kwaśnego szybko ulega zniszczeniu. Dla trwałości wyłożenia ogniotrwałego ważne jest szybkie zubożnienie żużla, co z kolei stawia duże wymagania odnośnie jakości wapna. Żużle zasadowe pod koniec okresu świeżenia charakteryzują się dużą zawartością FeO oraz niską zawartością MgO, nie przekraczającą w stanie nasycenia 6%. Ich działanie korodujące polega na niszczącym działaniu FeO. Tlenek żelaza z jednej strony przyspiesza tworzenie się żużla, a więc skraca czas jego oddziaływania na wyłożenie, z drugiej jednak powoduje powstanie z materiałem ogniotrwałym łatwotopliwych związków – ferrytów rozpuszczających wyłożenie i ułatwiających erozyjne wymywanie z niego ziaren ogniotrwałych a także wytworzenie w wyłożeniu stref o zróżnicowanych własnościach, takich jak: skład mineralny i chemiczny, wytrzymałość, rozszerzalność cieplna, co w połączeniu ze zmianami temperatury prowadzi do powstawania naprężeń i cyklicznych złuszczeń. Wyraźny spadek trwałości wyłożeń występuje przy wzroście zawartości FeO w żużlu ponad 12-15% .

W odniesieniu do wyłożenia FeO wywiera podwójny wpływ:

- FeO oddziałuje na węgiel zawarty w materiale ogniotrwałym. Węgiel ma zadanie zredukowanie FeO zawartego w żużlu do stanu metalicznego, podwyższenie temperatury likwidusu oraz ograniczenie przenikania do wnętrza materiału. Ta reakcja utleniająco-redukująca jest tym ważniejsza, im warunki są bardziej utleniające, gdyż znaczniejsze odwęglanie materiału ułatwia przenikanie i korozję materiału ogniotrwałego pod wpływem występujących faz ciekłych.
- FeO oddziałuje na składniki materiału ogniotrwałego. W zależności od tego czy materiał wykonany jest z magnezytu lub dolomitu jego zachowanie się jest różne w odniesieniu do żużla bogatego w żelazo. Zawartość FeO wpływa na zużywanie się wyłożenia magnezytowego w mniejszym stopniu niż w przypadku wyłożenia dolomitowego. Niejednakowe zużywanie się obu typów wyłożenia można wyjaśnić odmiennym zachowaniem się składników materiałów tlenku wapnia i tlenku magnezu w stosunku do tlenku żelaza. W materiałach dolomitowych FeO wnikając do odwęglonych stref zewnętrznych kształtki, powoduje tworzenie się łatwotopliwych ferrytów wapnia, które

łatwo wypłukiwane są z kształtki. Przy wyłożeniu magnezytowym peryklaz może przyswajać określona ilość tlenu żelaza bez szkody dla jego trwałości.

W praktyce zużycie wyłożenia zachodzi pod wpływem połączonego oddziaływania chemicznego i mechanicznego. W przypadku kształtek magnezytowo-węglowych zawierających co najmniej 10% grafitu, zużycie postępuje w sposób ciągły od ściany gorącej, na drodze procesu klasycznej korozji.

Korozja wyrobów węglowych rozpoczyna się od utworzenia na ich powierzchni warstwy odwęglonej. Jest ona cienka, zwykle grubości 1 do 2 mm. Drugim etapem zużycia jest penetracja żużla w głąb porowatej strefy odwęglonej. Infiltrujący żużel reaguje z MgO tworząc związki niskotopliwe. W ostatniej fazie zmodyfikowana i osłabiona warstwa powierzchniowa ulega erozji z uwagi na mieszanie żużla lub stali. Jeśli brak jest działania żużla, osłabiona strefa odwęglona eroduje wskutek turbulencji metalu.

Tlenek magnezu nie jest składnikiem niezbędnym dla utworzenia żużla, jednak ze względu na jego obecność w wyłożeniu zawsze następuje częściowe rozpuszczanie tego składnika w żużlu. Ilość tlenu magnezu przechodzącego do roztworu zależy od ilości żużla i odchylenia jego składu w odniesieniu do zawartości tlenu magnezu w stanie nasycenia. Aby zmniejszyć rozpuszczanie się tlenu magnezu wyłożenia, wprowadza się do konwertora tlenek magnezu w postaci dolomitu równocześnie z wapnem. Użycie dużych ilości topników np. fluorytu wpływa również niekorzystnie na wyłożenie.

Oddziaływania termiczne

Wstrząsy cieplne występują głównie w okresie wlewania surówki i na początku dmuchania. Szczególnie groźne są wstrząsy cieplne powodowane okresami przestojów. Przedwczesne zużycie obserwowane jest często na poziomie czopów. Związane jest to z akumulacją ciepła i ewentualnie z drganiami podczas przechyłania. Również ciepło wydzielane wskutek utleniania się domieszek kąpieli powoduje, że temperatury w miejscu reakcji ze strugą tlenu sięgają 2800°C. Ciepło to przechodzi do kąpieli, część jednak promieniuje do otoczenia i nagrzewa wyłożenie oraz gazy zawarte w przestrzeni roboczej. Temperatura gazów konwertorowych wzrasta też mocno wskutek dopalania się tlenu węgla i sięga ponad 1700°C. Wysokie temperatury pracy wyłożenia zwiększają jego podatność na mechaniczne i chemiczne oddziaływania niszczące.

Podczas przestojów, najczęściej powodowanych brakiem surówki, wyłożenie narażone jest na działanie powietrza, wskutek czego utlenianiu ulega substancja węglowa i

wyroby tracą własności związane z jej obecnością. Dodmuchy kąpieli metalowej tlenem lub wprowadzanie dodatków świeżących wydłużają czas korozyjnego i erozyjnego oddziaływania żużla oraz zwiększają obciążenie cieplne wyłożenia. Przegrzanie kąpieli, nawet tylko o 10°C ponad optymalną temperaturę, odbija się negatywnie na trwałości wyłożenia, intensyfikuje bowiem reakcje chemiczne, ułatwia migrację reagentów w głąb wyłożenia, a także stwarza możliwość jego deformacji plastycznych.

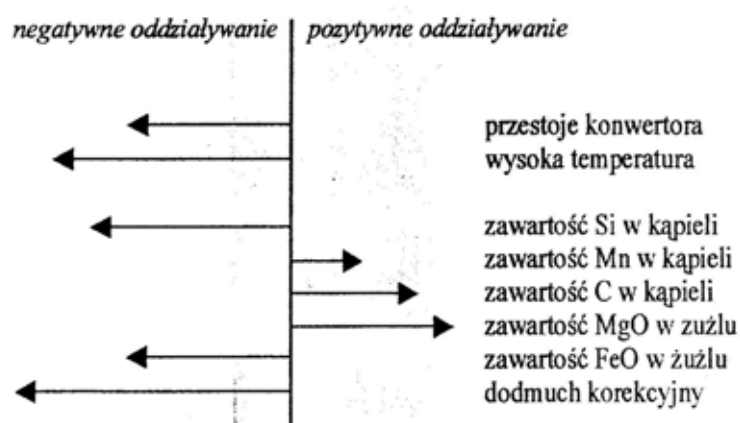
Oddziaływania mechaniczne oraz inne czynniki niszczące

Są szczególnie groźne podczas ładowania złomu i wlewania surówki. Zależą zasadniczo od sposobu załadowania materiałów zwłaszcza, gdy złom ładuje się przed surówką, a także ze względu na erozyjne wymywanie materiału wyłożenia wskutek intensywnych ruchów kąpieli wywołanych dmuchem oraz ścieraniem przez pyły, cząstki żużla i metalu jak np. wyrzuty kąpieli podczas dmuchu, unoszone w gazach.

Do innych czynników powodujących zużywanie się wyłożenia należą:

- zbyt wysoka temperatura, której wzrost powoduje przesunięcie krzywych likwidusu i zwiększenie rozpuszczalności składników materiału ogniotrwałego w żużlu, zwiększenie szybkości reakcji oraz obniżenie lepkości reagujących faz, w szczególności tych, które przenikają do materiału ogniotrwałego,
- czasy dmuchania i przetrzymywania kąpieli metalowej w konwertorze przed spustem,
- wszystkie czynniki, które mogą spowodować nieregularność procesu, a więc załadunek surówki o zmiennej jakości, załadunek złomu ciężkiego, który z trudnością rozpuszcza się w kąpieli metalowej,
- zmienna atmosfera nad przestrzenią roboczą konwertora,
- konstrukcja lancy.

Wpływ ważniejszych czynników technologicznych i eksploatacyjnych na trwałość wyłożenia konwertorów ilustruje *rys. 4*.



Rys.4. Wpływ różnych czynników na trwałość wyłożenia ogniotrwałego konwertora.

Sposoby zwiększania trwałości wyłożenia ogniotrwałego.

Istnieje wiele możliwości zwiększania trwałości wyłożenia ogniotrwałego konwertora. Do najważniejszych należą:

1. *Poprawa jakości materiałów ogniotrwałych*: wszystkie materiały, które podobnie jak dolomit zawierają wolne wapno ulegają uwodnieniu pod wpływem długotrwałego działania atmosferycznego. Dlatego możliwość przechowywania tych wyrobów jest ograniczona. W przypadku dolomitu należy zwiększyć odporność na hydratację poprzez : niskociśnieniowe wibracyjne formowanie kształtek, wzrost krystalitów fazy wapiennej, zwiększenie gęstości pozornej oraz zmniejszenie porowatości względnej.

Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na odporność materiałów magnezytowych na działanie żużla są między innymi: wysoka gęstość pozorna zapobiegająca penetracji na granicy krystalitów, skład chemiczny i zawartość zanieczyszczeń, które mogą zapobiegać wypłukiwaniu krystalitów do żużla [10].

Do kształtek magnezytowych o wiązaniu smołowym w celu zwiększenia stopnia polimeryzacji związków organicznych w smole, dodaje się w procesie ulepszania cieplnego, dodatki polimeryzujące jak np. związki organiczne, chlorki glinu lub cynku. Można też dodać do smoły żywice w celu zwiększenia wytrzymałości tych kształtek.

Węgiel wywiera znaczny wpływ na większość własności kształtek. Na zwiększenie odporności na korozję wpływa także stopniowe zastępowanie magnezytu spiekanego magnezylem stopionym elektrycznie. W materiałach magnezytowo-węglowych stawia się też wysokie wymagania stosowanemu grafitowi. Szczególnie ważnym parametrem jest zawartość popiołu w graficie. Utlenianie węgla z kształtek

magnezytowo-węglowych można ograniczyć dodając do wyrobów proszek Al, Mg lub Si. Metale te utleniają się szybciej niż węgiel lub grafit, a tworzące się tlenki Al_2O_3 , MgO i SiO_2 reagują pomiędzy sobą z wytworzeniem wysoko ogniotrwałego spinelu $MgOAl_2O_3$, czy forsterytu $2MgOSiO_2$, które wypełniają pory wyrobów uszczelniając powierzchnie wyłożenia.

2. *Technologia zabudowy*: wyłożenie ogniotrwałe konwertora może być wykonywane z dwóch lub trzech warstw. W przypadku trójwarstwowego wyłożenia, składa się ono z warstwy armaturowej bezpośrednio przylegającej do pancerza konwertora, warstwy pośredniej oraz roboczej. W wyłożeniu dwuwarstwowym nie wykonuje się warstwy pośredniej. Warstwa ochronna przylegająca bezpośrednio do pancerza pieca chroni go przed przegrzaniem. Jest ona trwała i zmieniana jest dopiero po kilku kampaniach warstwy roboczej. Warstwa pośrednia wykonana była ze smołowego dolomitu lub magnezytu. Chroni ona warstwę ochronną przed przenikaniem do niej ciekłego metalu i żużla oraz częściowo kompensuje rozszerzalność cieplną warstwy roboczej. Warstwa robocza zużywa się w czasie kampanii i dlatego po jej zakończeniu jest wymieniana całkowicie.

Obecnie wyłożenie konwertorów składa się najczęściej z dwóch warstw kształtek. Wszystkie szczeliny wypełnia się masami magnezytowymi. Grubość całego wyłożenia jest tak dobierana, aby pod koniec kampanii, kiedy jest ono zużyte temperatura pancerza nie przekraczała $300^{\circ}C$. Grubość warstwy ochronnej wynosi 115-350 mm. Wykonywana jest ona z wyrobów magnezytowych o zawartości 90-96% lub magnezytowo-węglowych o zawartości około 5% C. Grubość warstw roboczych wynosi 800 do 1200 mm. Dawniej murowano je podwójnymi podwójnymi pierścieniami z klinów dłuższych, robocze warstwy konwertorów wykonywane są z klinów o długości równej grubości warstwy. W ten sposób eliminuje się możliwość wymywania lub wypadania fragmentów klinów z częściowo zużytych wyłożeń co było zjawiskiem charakterystycznym w poprzednio stosowanych wyłożeniach.

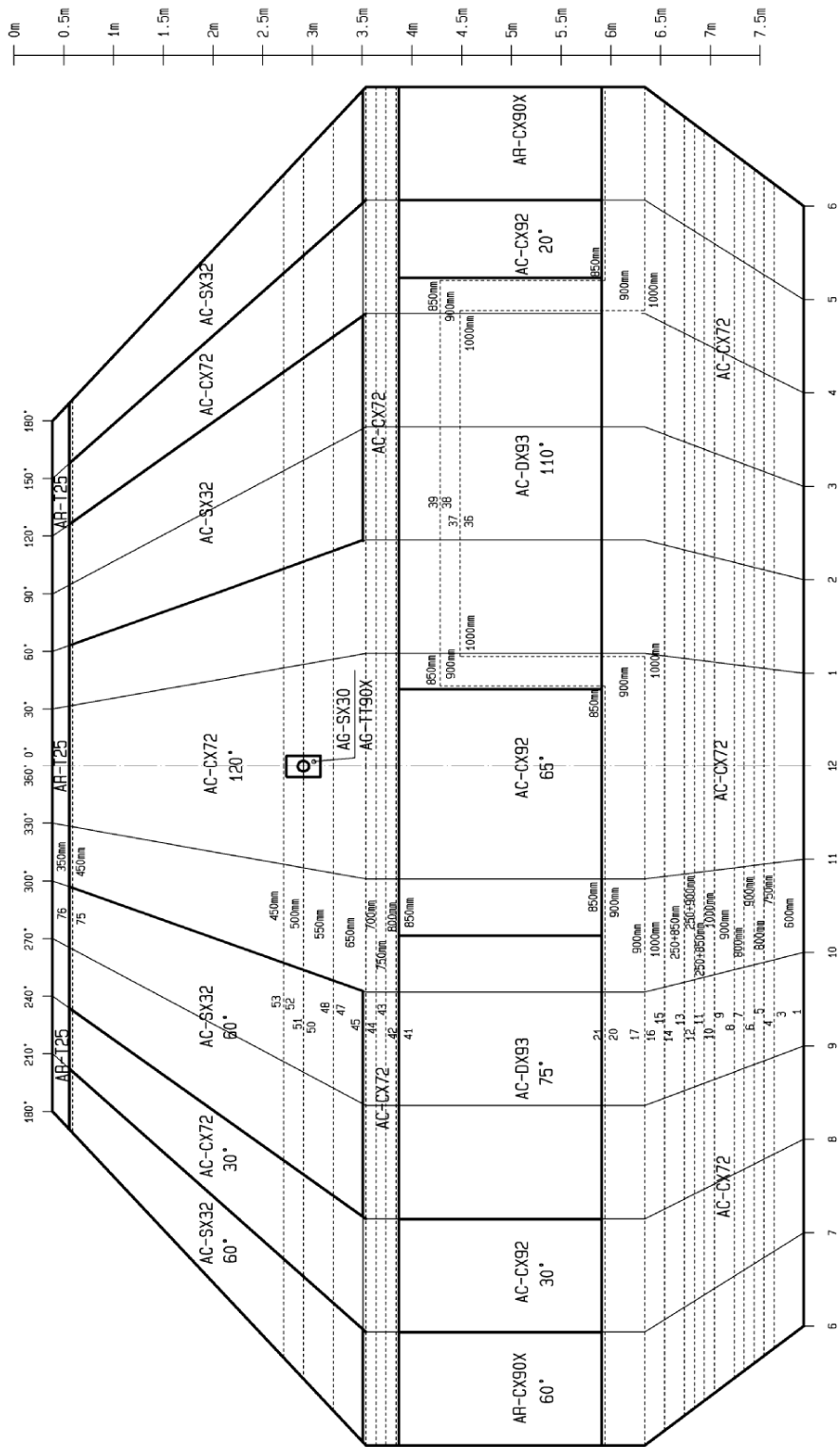
Najbardziej optymalnym rozwiązaniem stosowanym do wyłożenia konwertora jest zabudowa strefowa. W wyłożeniu strefowym zasadniczo strefy pokrywają się z elementami konstrukcyjnymi pancerza, a więc dennicą, częścią cylindryczną i stożkiem z gardzielą. W gardzieli gdzie zużycie wyłożenia odbywa się głównie pod wpływem działania zapyłonych gorących gazów odlotowych, a więc dominują oddziaływania erozyjne i ścierające, celowe jest stosowanie materiałów o dużej wytrzymałości mechanicznych, odpornych na ścieranie i

nagle zmiany temperatury. Właściwościami tymi charakteryzują się np. wyroby magnezytowo-węglowe o zawartości około 94-96% MgO.

W części cylindrycznej celowe jest stosowanie odpornych na erozyjne działanie żużla, ulepszonych cieplnie smołowych materiałów magnezytowo-dolomitowych lub magnezytowo-węglowych zawierających często dodatki antyutleniaczy.

Roboczą warstwę dennicy wykonuje się materiałów magnezytowo-dolomitowych lub magnezytowo-węglowych. Otwór spustowy wykonuje się z bloków z topionego magnezytu, nasyconych smołą.

Przykładową strefową zabudowę wyłożenia ogniotrwałego konwertora TBM Huty Mittal Steel w Krakowie przedstawia poniższy rys.5, natomiast własności zabudowanych materiałów zestawiono w tablicy.



Tablica . Materiały ogniotrwałe stosowane do zabudowy konwertora KT – 1 w Mittal Steel Poland Oddział Kraków (kampanie 18 – 23) i KT – 1 Oddział Dąbrowa Górnicza (kampanie 193 – 196).

| Kraków | | | Dąbrowa Górnicza | |
|------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Miejsce zabudowy | Grubość zabudowy [mm] | Symbol materiału | Grubość zabudowy [mm] | Symbol materiału |
| Gardziel | 450 | Ancarbon CX72 Anker T25 | 700 | Ancarbon CX72 Anker T25MG |
| Stożek | 450-650 | Ancarbon CX72 Ancarbon SX32 | 850 | Ancarbon CX72 Ancarbon SX32 |
| Nad czopami | 700-800 | Ancarbon CX72 | 900 | Ancarbon CX93 |
| Czopy | 850 | Ancarbon DX93 | 900 | Ancarbon DX93 |
| Pod czopami | 850 | Ancarbon CX72 | 900 | Ancarbon CX72 |
| Wsadowa | 850 | Anker CX90X Ancarbon CX92 | 900 | Anker CX90X Ancarbon DX92X |
| Spustowa | 850 | Ancarbon CX92 | 900 | Ancarbon DX92X |
| Dennica | 1000 | Ancarbon CX72 | 1000-1200 | Ancarbon DX92 Ancarbon CX92 |

A. Wpływ czynników metalurgicznych

Duży wpływ na trwałość wyłożenia ogniotrwałego konwertora ma lepkość żużła. Obniżenie lepkości żużła można osiągnąć przez stosowanie wapna dolomitowego do zawartości około 10% MgO w żużlu. Szczególnie korzystne dla wyłożeń magnezytowych jest stosowanie dodatku dolomitu. Chroni on wyłożenie ogniotrwałe i zwiększa szybkość rozpuszczania wapna. Ilość dodawanego dolomitu winna być taka, by osiągnąć stan nasycenia żużła.

Szkodliwemu działaniu topników, które są składnikami wsadu, można zapobiec poprzez możliwie staranne ściągnięcie żużła z surówki przed jej załadowaniem do konwertora.

Aby obniżyć zużycie wyłożenia wskutek wstrząsów cieplnych, trzeba zmniejszyć różnicę temperatur, utrzymując wyłożenie w temperaturze możliwie najwyższej. Można to osiągnąć przez: skrócenie czasu oczekiwania pustego konwertora, a jeśli oczekiwanie jest konieczne to utrzymanie konwertora w stanie gorącym, zmniejszenie liczby pośrednich przechyleń, które powodują zmiany cieplne o mniejszej amplitudzie, ale przeważnie niszczą materiał wskutek zmęczenia cieplnego a także zredukowanie czasu przetrzymywania kąpieli w konwertorze między zakończeniem dmuchu a rozpoczęciem spustu.

W celu zmniejszenia zużycia wyłożenia można zastosować w miejscu najbardziej intensywnego zużycia na granicy żużel-metal-wyłożenie, chłodzenie wodne zewnętrznej części pancierza konwertora.

Torkretowanie i remonty

Polepszenia stanu wyłożenia konwertora dokonuje się poprzez torkretowanie obszarów szczególnego zużycia wyłożenia masami magnezytowymi zawierającymi MgO, w przerwach pomiędzy kolejnymi wytopami. Masy natryskowe muszą spełniać wysokie wymagania w odniesieniu do własności cieplnych, odporności na korozję i zdolności przyczepiania się do wyłożenia. Zastosowanie wapna dolomitowego i prowadzenie procesu z żużlem o zawartości MgO około 6% poprawiają zasadniczo możliwości natryskiwania ścian konwertora. Przez wydzielanie się z żużla MgO i przylepianie się do ściany konwertora poprawia się znacznie przyczepność masy natryskowej. Powstająca warstwa ochronna na przedniej i tylnej ścianie tworzy przez przechylenie konwertora po spuście bardzo dobrą powłokę dla utworzenia warstwy ochronnej z masy natryskowej. W obszarze bocznych ścian, powierzchnie w kształcie V (w rejonie czopów) pozostają poza zasięgiem ochronnej warstwy żużlowej i są odkryte. Zadaniem tej metody jest więc utrzymanie stałego zabezpieczenia tych bocznych rejonów wyłożenia.

Można wyróżnić trzy rodzaje torkretowania:

- suche,
- mokre,
- płomieniowe.

Maszyny do mas suchych operują na masach suchych lub półsuchych, które są zwilżane i mieszane dopiero w dyszy wylotowej. Wadą tej metody jest miejscowa niejednorodność natryskiwanej warstwy oraz powstawanie rozwarstwień między kolejnymi nanoszonymi

warstwami, czego przyczyną są wirowanie suchych składników masy w czasie przepływu przez maszyny, na skutek czego cięższe składniki są odrzucane na zewnątrz strumienia.

Maszyny do mas mokrych są mniej uniwersalne od maszyn do mas suchych. Jest to ciśnieniowy zbiornik z mieszarką miedzarkową, która mechanicznie miesza masę z odmierzoną ilością wody. Sprężone powietrze podaje mieszankę przez wąż a następnie wyrzuca ją przez dysze. Główną wadą mas mokrych jest ograniczona wysokość na jaką można narzucać masę do góry, na skutek jej dużego ciężaru spowodowanego zawartością wody.

Torkretowanie płomieniowe polega na wprowadzeniu do konwertora poprzez specjalnej konstrukcji lancę, sproszkowanego materiału ogniotrwałego oraz paliwa (sproszkowanego koksu, oleju napędowego lub propanu) w strumieniu tlenu. Pod wpływem wysokiej temperatury sproszkowany materiał ogniotrwały ulega nadtopieniu zwiększając w ten sposób swoją przyczepność do wyłożenia konwertora.

Podsumowując, należy wspomnieć o kilku wadach techniki torkretowania, a mianowicie:

- nie jest możliwa znaczna poprawa trwałości wyłożenia,
- wysoka temperatura spustu ma tendencję do niszczenia naprawionej warstwy,
- czynność ta zajmuje dużo czasu operacyjnego.

Uzupełnieniem poprzedniej metody jest operacja „slag splashing”, czyli „rozpryskiwanie żuźla”. Technika ta polega na wdmuchiwniu azotu lancą, w celu rozchlapania pozostałego po spuście żuźla, który pokryje wyłożenie ogniotrwałe, w miejscach gdzie jest to niemożliwe poprzez przechylenie konwertora. Parametrami, które mogą być zmieniane są czas, prędkość przepływu azotu oraz wysokość położenia lancy. Sam proces rozpryskiwania żuźla zajmuje tylko 5 minut i może być połączony z operacją przechylenia konwertora. Rozpryskiwanie żuźla wymaga mniej czasu niż proces torkretowania, a z powodu większej sprężystości osi odbicia na dnie tworzy się mniej narostów.

Procesy te skutecznie zwiększają trwałość wyłożenia, np. w stalowni w Luleå poprzez kołysanie konwertorem osiągnięto stabilną liczbę 3500 wytopów na kampanię, a po wprowadzeniu operacji „slag splashing”, zwiększono długość kampanii do 5000 wytopów.

Kontrola zużycia wyłożenia ogniotrwałego

Materiały ogniotrwałe są najdroższym elementem produkcji stali. Dlatego, aby osiągnąć maksymalną wydajność zarówno jeśli chodzi o samą produkcję jak i koszty z nią

związane, należy mieć na uwadze odpowiednie ilościowe oszacowanie grubości materiału ogniotrwałego, którym pokryty jest konwertor. Wzrost liczby wytopów wykonanych na jednym wyłożeniu powoduje wzrost produkcji, obniża wskaźnik zużycia wyrobów ogniotrwałych na jednostkę wyprodukowanej stali, a zatem obniża koszt jej wytworzenia.

W celu określenia terminu przeprowadzenia remontu wyłożenia i zakresu prac, które należy wykonać aby utrzymać konwertor w pełnej gotowości eksploatacyjnej, niezbędne są informacje dotyczące aktualnego stanu wyłożenia i jego ubytków.

Do pomiaru zużycia wyłożenia ogniotrwałego stosowane są różne metody kontroli, między innymi: termografia, stereofotografia, wykorzystywanie termoelementów lub pierwiastków promieniotwórczych oraz rentgenografia.

Metoda radioizotopowa

Jest to metoda ciągłej kontroli zużywania się wyłożenia. Stosowane w tej metodzie izotopy są stosunkowo niewielkiej (bezpiecznej dla człowieka) aktywności. Mogą być dwa sposoby postępowania:

- izotop zabudowuje się na określonej głębokości w wyłożeniu ogniotrwałym, natomiast pomiar natężenia promieniowania dokonuje się na zewnątrz pieca. O zniszczeniu wyłożenia świadczy spadek natężenia promieniowania spowodowany usunięciem izotopu razem ze zniszczoną częścią wyłożenia,
- mierzy się aktywność metalu z rozpuszczonym izotopem w miarę niszczenia wyłożenia, w którym był zabudowany. Sposób ten stosuje się wówczas, gdy izotop promieniotwórczy zabudowany jest blisko powierzchni roboczej pieca, zaś pomiar natężenia promieniowania z zewnątrz jest niemożliwy na skutek silnej absorpcji promieniowania w grubych ścianach pieca.

Metoda termowizyjna

Polega na zastosowaniu kamery podczerwieni do pomiaru temperatury powierzchni pancerza pieca. Rejestruje ona natężenie promieni podczerwonych w postaci obrazu termowizyjnego. Na podstawie termowizyjnego obrazu można określić grubość pozostającego jeszcze wyłożenia oraz można przeprowadzić efektywne naprawy na silnie zużytych obszarach wyłożenia.

Fotogrametria

Jest to technika, która wykorzystuje obrazy fotograficzne w celu przeprowadzenia pomiarów powierzchni. Największą zaletą fotogrametrii jest fakt, że zarejestrowane obrazy mogą być poddane najpierw badaniu wzrokowemu przez operatora a następnie gromadzone dla potrzeb przyszłych analiz. Możliwy jest również automatyczny pomiar wyłożeń gorących pieców. Całkowity czas potrzebny na dostarczenie informacji dotyczących wyłożenia konwertora wynosi około 31 minut, w tym 6 minut to czas ustawienia, zmonitorowania konwertora i wytworzenia obrazów, a 25 minut to czas przetwarzania danych i dostarczania danych pomiarowych grubości wyłożenia za pomocą kolorowych map konturowych ścian bocznych lub dna.

Metoda monitorowania

Polega na umieszczeniu na określonej głębokości, wewnątrz kształtek ogniotrwałych pewnej liczby dwużyłowych przewodów. Każdy przewód zasilany jest stałym napięciem w celu wytworzenia sygnału pomiarowego, którego wartość zmienia się w przypadku stanu zwarcia wywołanego zużyciem wyłożenia ogniotrwałego.

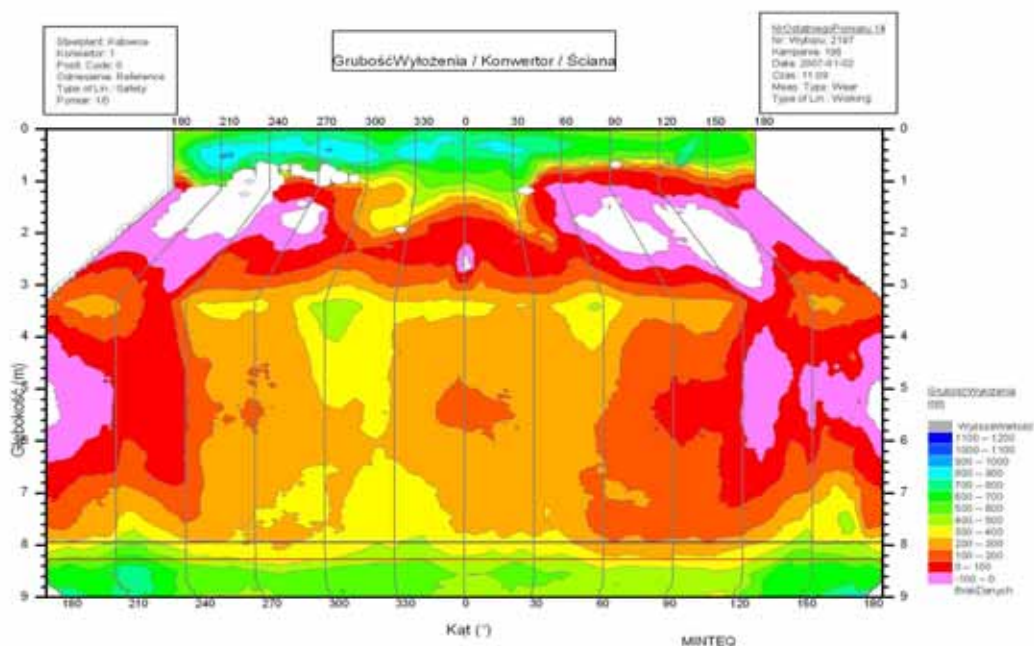
Technika laserowa

Technika laserowa to jedna z najpopularniejszych metod pozwalających na dokładne określenie zużycia wyłożenia ogniotrwałego. Polega ona na pomiarach punktowych wykonywanych w poprzek powierzchni wyłożenia tworząc tym samym zarys jej konturów. Wykorzystuje się do tego celu laserowy geodimetr. Przyrząd ten sprzężony z komputerem instalowany okresowo na pomoście roboczym, pozwala w krótkim czasie określić aktualny obraz wyłożenia. Geodimetr laserowy pozwala uzyskać informacje o aktualnej grubości wyłożenia w poszczególnych obszarach konwertora. Ułatwia to podjęcie właściwej decyzji o sposobie zabudowy strefowej wyłożenia oraz o czasie i intensywności natryskiwania zapobiegawczego wyłożenia. Taki laserowy przyrząd pomiarowy na bazie geodimetru użytkuje obecnie na świecie kilkadziesiąt stalowni, a w Polsce pracuje również w stalowniach konwertorowych Mittal Steel Poland.

Podstawową częścią tego urządzenia jest laserowa głowica pomiarowa, która służy do emisji i odbioru promieniowania laserowego wytwarzanego przy użyciu lasera helowo-neonowego małej mocy. Dla uzyskania dużej dokładności pomiarów należy uwzględnić ewentualne deformacje pancerza konwertora, których nie uwzględniono w zaprogramowanym w komputerze profilu ochronnego wyłożenia. Dlatego też często wykonuje się wstępne

pomiary wcześniej określonych punktów siatki dla różnych głębokości i różnych kątów na powierzchni wyłożenia ochronnego lub nowego wyłożenia warstwy roboczej. Te pomiary i ich współrzędne są wprowadzane do pamięci komputera i określają aktualny profil w każdym indywidualnym przypadku.

Przykładową topografię zużycia wyłożenia ogniotrwałego konwertora po zakończeniu kampanii przedstawia rys.6.



Do zalet urządzenia laserowego można zaliczyć:

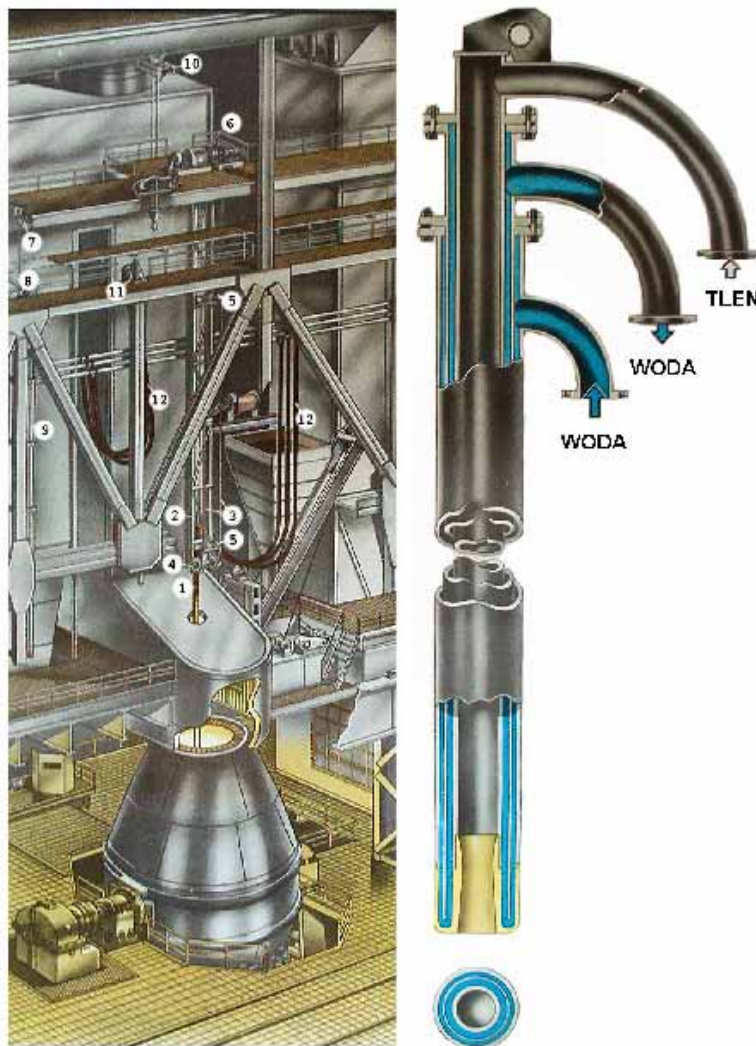
- możliwość wnikliwego doboru jakości stosowanych gatunków materiałów ogniotrwałych w poszczególnych strefach wyłożenia, co zapewnia poprawę ekonomiki procesu oraz zabezpiecza bezawaryjną pracę wyłożenia,
- po każdym kolejnym pomiarze można podjąć decyzję o celowości torkretowania określonego obszaru wyłożenia,
- w porównaniu z innymi metodami, stosowanie geodmietru cechuje duża szybkość i dokładność pomiaru oraz łatwość przedstawiania wyników,
- możliwość przewidywania zakończenia kampanii,
- pomiar pozwala na optymalne prowadzenie lancy tlenowej dzięki określeniu rzeczywistej głębokości kąpeli metalowej,
- analiza obrazu zużycia wyłożenia odniesiona do konkretnych parametrów eksploatacyjnych może służyć wyjaśnieniu wielu zjawisk i być pomocą w sterowaniu procesem konwertorowym.

Podstawowym zastrzeżeniem stawianym temu urządzeniu jest brak możliwości wykrycia ukrytej erozji, jeśli pokryta jest ona warstwą żużla. Oprócz tego urządzenie laserowe nie pracuje w istocie w sposób ciągły, tzn. nie dostarcza informacji o stanie wyłożenia konwertora w każdej chwili procesu, a jedynie podczas pomiarów przeprowadzanych z różną częstotliwością w zależności od potrzeb, ale i możliwości danej stalowni.

Lanca tlenowa

W procesie konwertorowym z górnym dmuchem lanca tlenowa jest podstawowym narzędziem do wprowadzania gazu utleniającego w przestrzeń nad kąpielą i do kąpeli metalowej. Poszczególne parametry lanc tlenowych uległy zmianie w miarę opanowywania i poznawania procesu rafinacji surówki w konwertorze. W początkowym okresie rozwoju procesu tlenowego, kiedy wykorzystywano konwertory przebudowywane z konwertorów bessemerowskich i tomassowskich, z uwagi na niską konstrukcję budynków stalowni stosowano różnego rodzaju lance z nie pionowym przesuwem. Początkowo stosowano lance z głowicami jednootworowymi., które dawały małe rozśrodkowanie dmuchu, a strumień oddziaływał na niewielką powierzchnię kąpeli wnikając do niej na znaczną głębokość. Przy zwiększonej intensywności dmuchu będącej następstwem wprowadzania do eksploatacji konwertorów o coraz większych pojemnościach, stosowanie głowic jednootworowych powodowało nasilenie wyrzutów, zwiększenie zużycia wyłożenia ogniotrwałego oraz zmniejszenie wydajności. Zaczęto więc stosować lance z głowicami wielootworowymi pozwalającymi na rozśrodkowanie dmuchu tlenowego i uzyskanie tzw. miękkiego dmuchu. Konstrukcja lancy tlenowej wykazuje duży wpływ na przebieg procesu technologicznego, wydajność konwertora, uzysk ciekłej stali oraz trwałość wyłożenia ogniotrwałego. Lanca tlenowa (rys.7) to układ trzech współosiowo zamocowanych rur wykonanych ze stali kotłowej.

LANCA TLENOWA



- | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Lanca tlenowa. | 7. Zespół przeciwwagowy. |
| 2. Osłona przewodnicy lancy. | 8. Przeciwwaga. |
| 3. Łańcuchy naciągowe. | 9. Osłona przeciwwagi. |
| 4. Koło łańcuchowe przewodnicy. | 10. Suwnica przenosząca lancę. |
| 5. Koło łańcuchowe. | 11. Stojak zapasowej lancy. |
| 6. Mechanizm podnoszenia lancy. | 12. Giętne przewody z wodą i tlenem. |

Rys.7. Lanca tlenowa.

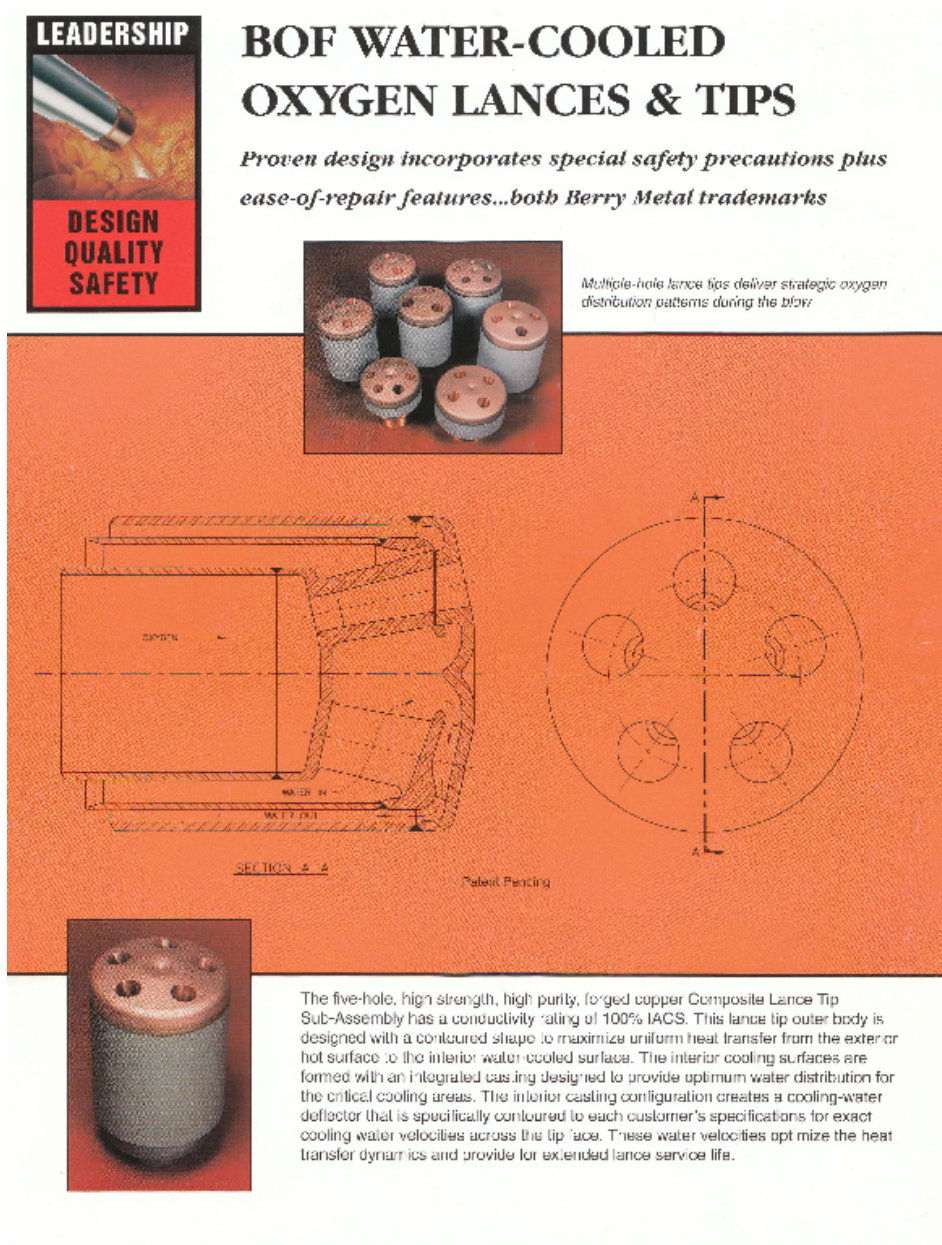
Rurą wewnętrzną (o najmniejszej średnicy) doprowadza się tlen do głowicy. Rura środkowa służy do doprowadzania wody chłodzącej do głowicy, a zewnętrzna do jej odprowadzania. Tlen z sieci za pomocą giętkiego przewodu jest dostarczany do rury wewnętrznej i następnie do dysz de Laval'a znajdujących się w głowicy. Dysze de Laval'a umożliwiają przekształcenie strumienia gazu z prędkości poddźwiękowej w naddźwiękową. Konstrukcja głowicy ma

decydujące znaczenie dla przebiegu procesu świeżenia. Napór strug gazu oraz głębokość jej wnikania to główne parametry dmuchu, które można świadomie kształtować przez właściwy dobór liczby dysz i prawidłowe obliczenie ich wymiarów geometrycznych.

Korpus lancy winien charakteryzować się dużą trwałością. Ze względu na najbardziej intensywne oddziaływanie cieplne, chemiczne i mechaniczne skierowane na czołową część lancy, a więc jej głowicę, o trwałości lancy decydować będzie trwałość głowicy. Musi być ona wykonana z materiału zapewniającego możliwość odebrania znacznych ilości ciepła w porównaniu z pozostałymi częściami lancy, co chronić ma ją przed szybkim zniszczeniem wskutek przegrzania. warunki takie spełnia miedź charakteryzująca się dużą przewodnością cieplną.

Głowicę lancy wykonuje się jako oddzielny element, połączony z korpusem lancy, mogący podlegać wymianie. Na rysunku poniżej przedstawiono schematycznie głowicę lancy z centralnym doprowadzeniem tlenu. Czołowa część głowicy i dysze wykonane są z miedzi, natomiast rury, element łączący oraz element rozprowadzający wodę chłodzącą ze stali. Głowice wykonywane są metodą spawania, odkuwania lub odlewania, przy czym najbardziej rozpowszechnione są głowice spawane. Trwałość głowic wynosi od kilkudziesięciu do ponad tysiąca wytopów. Na rys.8.pokazano głowice 3, 4, 5 i 6-cio otworowe.

Chłodzenie głowicy jak i całej lany ma na celu zmniejszenie do minimum skutków oddziaływania wysokich temperatur. skuteczność chłodzenia wielootworowej głowicy zależy od sposobu doprowadzenia wody chłodzącej, a także od jej rozprowadzenia w samej głowicy. Najbardziej rozpowszechnionymi sposobami rozprowadzenia wody w głowicy są odpowiednio ukształtowane elementy znajdujące się pomiędzy dyszami oraz spiralne kierownice zamontowane w końcowych fragmentach lancy.



LEADERSHIP

BOF WATER-COOLED OXYGEN LANCES & TIPS

Proven design incorporates special safety precautions plus ease-of-repair features...both Berry Metal trademarks

DESIGN QUALITY SAFETY

Multiple-hole lance tips deliver strategic oxygen distribution patterns during the blow

SECTION 5-4

Patent Pending

The five-hole, high strength, high purity, forged copper Composite Lance Tip Sub-Assembly has a conductivity rating of 100% IACS. This lance tip outer body is designed with a contoured shape to maximize uniform heat transfer from the exterior hot surface to the interior water-cooled surface. The interior cooling surfaces are formed with an integrated casing designed to provide optimum water distribution for the critical cooling areas. The interior casting configuration creates a cooling-water deflector that is specifically contoured to each customer's specifications for exact cooling water velocities across the tip face. These water velocities optimize the heat transfer dynamics and provide for extended lance service life.

Niekorzystnym zjawiskiem eksploatacji lanc tlenowych jest osiadanie cząstek metalu i żużła na jej powierzchni w postaci skrzepów zwane metalizowaniem lancy. Zmetalizowana lanca znacznie utrudnić lub wręcz uniemożliwić eksploatację jej, poprzez przegrzanie i w końcu przepalenie, zakleszczenie w otworze kotła i niebezpieczeństwo urwania lancy przy jej podnoszeniu, co powoduje konieczność jej wymiany, przestoje z tym związane, straty materiału i produkcji. Zjawisko metalizowania lancy można ograniczyć poprzez odpowiedni dobór technologii procesu (materiały wsadowe, sposób prowadzenia procesu, ograniczenie postojów konwertora lub obniżenie strumienia wody chłodzącej podczas przerw w dmuchaniu tlenu). Zjawisko metalizowania lancy maleje ze wzrostem temperatury, co z kolei niekorzystnie wpływa na jej trwałość. Dlatego zastosowanie powłok ochronnych i warstw

zabezpieczających odsuwa powierzchnię lancy od bezpośredniego działania temperatury i emulsji żuźlowo-metalowej, a także ułatwia usuwanie skrzepów z jej powierzchni.

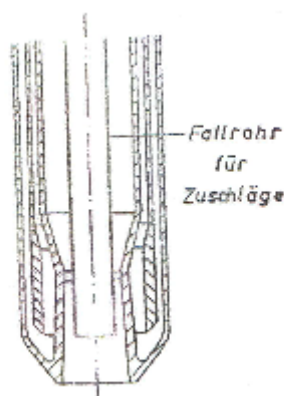
O żywotności lancy tlenowej decydują także inne czynniki, np. zużycie wyłożenia ogniotrwałego. Pod koniec kampanii konwertora nasila się zjawisko wyrzutów żuźla i metalu, co jest wynikiem zmiany geometrii konwertora. W związku z tym zwiększa częstotliwość wymiany lanc tlenowych ze względu na ich zametalizowanie.

Każdy konwertor jest wyposażony w dwie lance, przy czym jedna stanowi rezerwę. Po doprowadzeniu tlenu i wody do lancy rezerwowej dokonuje się szybkiej wymiany lanc.. Górny koniec lancy zamocowany jest w mechanizmie podnoszenia i opuszczania lancy. Mechanizm sterowania położenia lancy zablokowany jest elektrycznie z mechanizmem przechyłu konwertora, tak by w czasie dmuchania tlenu nie można było przechylić konwertora a także by w czasie gdy konwertor jest przechylony nie można było opuścić lancy.

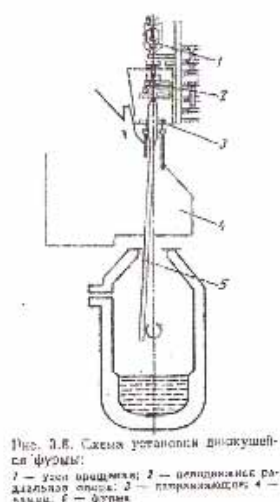
Warunki dmuchu odgrywają ważną rolę w przebiegu reakcji metalurgicznych w konwertorze, a także na zużycie wyłożenia ogniotrwałego. W celu poprawy warunków dmuchu prowadzono próby z lancami, w których zmieniono kąt rozbieżności dyfuzora. W standardowej lancy kąt ten wynosił 10° a w nowego typu 18° . W rezultacie uległa też zmianie odległość lancy od kąpieli metalowej.

W celu zapobiegania wyrzutom w początkowej fazie dmuchu tlenu, wysokość położenia lancy i natężenie przepływu tlenu zostały zmienione. Wysokość została zoptymalizowana. W rezultacie uzyskano mniejsze straty żelaza do żuźla, uzyskano większe natężenia dmuchu tlenowego, a także skrócono czas dmuchu.

Innymi rozwiązaniami mającymi spełniać zadania lanc wielootworowych są przedstawione na *rys.8 i 9*: dysza pierścieniowa i lanca wirująca.



Rys.8. Głowica z dyszą pierścieniową



Rys.9. Wirująca lanca tlenowa

Prowadzono także badania nad wykorzystaniem lanc umożliwiających zastosowanie zamiast powszechnie przyjętego dmuchu nieprzerywanego, dmuch przerywany z określoną częstotliwością pulsacji. Opierając się na wynikach badań laboratoryjnych i przemysłowych stwierdzono, że pulsacyjny dmuch wpływa na przebieg szeregu procesów takich jak formowanie się pierwotnej i wtórnej strefy reakcji, wymianę masy i ciepła a także wyrzuty metalu i żużla. Istotnym elementem takiej lancy jest tzw. pulsator, który umożliwia pulsację dmuchu. Do najbardziej rozpowszechnionych należą pulsatory gazodynamiczne i elektromechaniczne. W pulsatorach gazodynamicznych dmuch przerywany uzyskuje się przez umieszczenie na drodze przepływu tlenu ciała o określonym kształcie, natomiast w pulsatorach elektromechanicznych pulsację dmuchu uzyskuje się poprzez szybkozmiennie otwieranie i zamykanie przepływu tlenu. Takim elementem sterującym może być np. wirująca tarcza z odpowiednio wykonanymi otworami.

Opracowano również tzw. lancę podwójnego dmuchu. Lanca taka składa się z korpusu głowicy z dyszami oraz dysz dopalających, którymi dostarcza się dodatkowy tlen służący do dopalania części gazów konwertorowych (tlenek węgla do dwutlenku węgla) w przestrzeni nad kąpielą metalową. W wyniku przebiegu tej reakcji uzyskuje się dodatkowe ilości ciepła, które mogą być wykorzystane do roztapiania większych ilości złomu (w miejsce surówki), przez co wyraźnie poprawia się ekonomika procesu.

2. Technologia procesu konwertorowego z kombinowanym dmuchem

Wytapianie stali w warunkach Mittal Steel Poland odbywa się w konwertorach technologią TBM. Proces z kombinowanym dmuchem (TBM) polega na mieszaniu kąpieli metalowej strumieniem gazu obojętnego (argon lub azot), podawanego poprzez stalowe dysze wbudowane w wyłożenie ogniotrwałe dennicy konwertora, w przeciwnym kierunku do świeżenia tlenem podawanym od góry. Gazy obojętne doprowadzane są do konwertora poprzez dysze. Dolny dmuch gazem obojętnym prowadzony jest przez cały okres trwania wytopu. Natężenie przepływu gazu ulega zmianie w zależności od fazy wytopu, a udział danego gazu w procesie zależy od gatunku wytapianej stali.

Proces TBM w porównaniu z procesem konwencjonalnym LD stwarza dogodniejsze warunki do uzyskania dobrej jakości stali. Większa intensywność mieszania kąpieli metalowej spowodowana przepływem gazów obojętnych podawanych przez dno zapewnia;

- lepsze wymieszanie kąpieli metalowej przez co skład chemiczny i temperatura są bardziej jednorodne,
- szybszy transport reagentów do stref redukcji z tlenem,
- szybsze tworzenie się aktywnego żuźla,
- mniejsze zapotrzebowanie na tlen podczas świeżenia a przez to mniejsze natlenienie kąpieli,
- zmniejszenie ilości utlenionego żelaza,
- niższe zużycie żelazostopów i odtleniaczy, a także poprawę warunków pracy materiałów ogniotrwałych.

W skład instalacji TBM wchodzi : zbiorniki z gazem, rurociągi stalowe, stacje pomiarowe i regulujące natężenie przepływów oraz komputer sterujący procesem dolnego dmuchu.

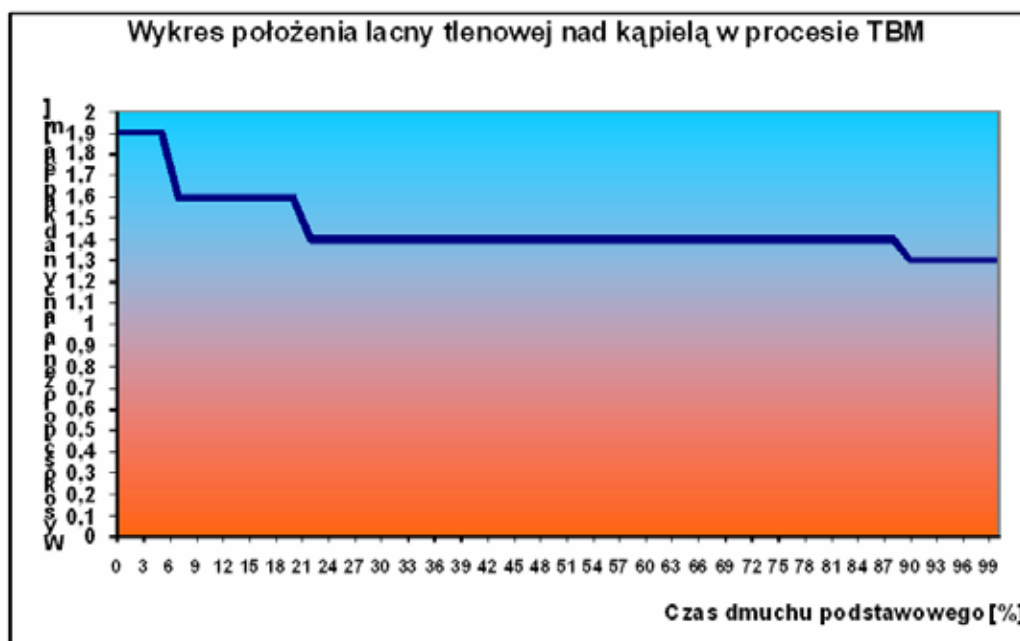
Proces wytapiania stali w konwertorze tlenowym można podzielić na kilka etapów, tj: załadunek wsadu metalicznego stałego (złomu) i zalewanie surówki do konwertora, dmuch podstawowy, okres przedspustowy oraz spust metalu do kadzi z jednoczesnym podaniem żelazostopów i nawęglaczy.

Po oczyszczeniu otworu spustowego i gardzieli konwertora ze skrzepów powstałych w czasie poprzedniego wytopu, otwór spustowy zostaje zamknięty a następnie przystępuje się do załadunku złomu. W tym celu konwertor zostaje ustawiony pod kątem 50° od osi pionowej na stronę wsadową, poczym przygotowany w korytach wsadowych złom zsypywany jest do

konwertora za pomocą suwnicy. Ważne jest aby po załadunku, poszczególne elementy złomu nie wystawały poza obrys gardzieli ponieważ w czasie przechylania konwertora mogło by dojść do uszkodzenia ekranu kotła. W dalszej kolejności konwertor ustawiony zostaje pod kątem 30° od osi pionowej a następnie suwnicą zalewową wlewa się surówkę przechylając każdą odlewniczą. Po załadunku materiałów wsadowych konwertor zostaje ustawiony w pozycji pionowej, opuszcza się lancę tlenową i podaje pierwszą porcję wapna.

Kolejnym etapem wytapiania stali jest dmuch podstawowy celem wyświeżenia kąpieli tlenem. W czasie dmuchu dodawane są porcjami ; pozostała część wapna, fluoryt oraz w zależności od potrzeb ruda żelaza lub koks. Koniec dmuchu podstawowego następuje z chwilą gdy wytop osiąga wymaganą temperaturę a zawartość węgla w metalu wynosi 0,02 - 0,04%. W procesie TBM, gdzie mieszanie kąpieli wspomagane jest gazami obojętnymi, dmuch tlenu prowadzony jest lancą sześciootworową. W początkowym okresie dmuchu, gdy lanca znajduje się w położeniu 1,9 m nad kąpielą /w krakowskiej hucie, rys.10./, występuje tzw. „miękki dmuch”, który powoduje silne rozpuszczanie wapna i przyspiesza tworzenie się aktywnego żuźla (rys.).

W okresie przedspustowym zostaje przeprowadzona korekta składu chemicznego i temperatury wytopu. W tym celu po zakończeniu dmuchu podstawowego konwertor zostaje przechylony tak aby umożliwić dokonanie pomiaru temperatury i pobranie próby metalu. Jeżeli otrzymana temperatura jest zbyt wysoka do kąpieli wprowadzany jest środek schładzający (wapno, dolomit lub złom), natomiast przy podwyższonej zawartości fosforu do



Rys. 10. Przykładowa zmiana wysokości położenia lancy tlenowej nad kąpielą metalową

schładzania podaje się rudę żelaza. Dmuch korekcyjny stosowany jest także przy zbyt niskiej temperaturze w czasie pozwalającym na uzyskanie wymaganej temperatury do spustu, a także celem obniżenia zawartości węgla, siarki lub fosforu do wymaganych granic. Korekta dmuchem dla podwyższenia temperatury prowadzona jest przy górnym roboczym położeniu lancy tlenowej, dzięki czemu następuje silne utlenianie żelaza i przekazanie do kąpieli dodatkowej ilości wytworzonego ciepła. Dla obniżenia zawartości pierwiastków (C,S,P) czynność ta prowadzona jest przy dolnym roboczym położeniu lancy tlenowej. Po zakończeniu dodmuchu korekcyjnego pobierane są próby metalu i żużla oraz mierzona jest temperatura, przy czym czas pomiędzy ostatnim pomiarem temperatury a spustem nie może być dłuższy niż 3 minuty.

W dennicy konwertora przy wymianie wyłożenia ogniotrwałego w czasie remontu zabudowuje się kształtki argonowe jedno lub wielootworowe (8 sztuk) do, których podłączona jest poprzez czop konwertora instalacja argonowo–azotowa.

Całość przedmuchiwania sterowana jest komputerem, który w zależności od wykonywanego asortymentu ustala „klucz dmuchania” czyli ilość i czas podawania odpowiedniego gazu.

Zainstalowane urządzenia i konstrukcja dysz umożliwiają podawanie gazu obojętnego nieprzerwanie we wszystkich fazach wytopu z zróżnicowanym natężeniem przepływu i możliwością zmiany rodzaju podawanego gazu (azot –argon), w zależności od fazy wytopu i od jakości wytapianej stali. Wdmuchiwany przez dennicę gaz obojętny zapewnia bardzo dobre wymieszanie kąpieli metalowej, szybki transport reagentów do stref reakcji z tlenem, jednorodność temperatury i składu chemicznego kąpieli metalowej. Poprawia ponadto kontakt metalu z żużlem. Lanca tlenowa w tych warunkach ma za zadanie głównie dostarczanie tlenu na całą powierzchnię metalu będącego w ruchu. Nie jest konieczne jak w procesie LD „twarde dmuchanie, celem wymieszania kąpieli. Pod lancą nie występuje skoncentrowane ognisko reakcji o wysokiej temperaturze. Lanca w związku z tym posiada inną konstrukcję głowicy i pracuje wg. zmienionego reżimu dmuchu. Dzięki tym czynnikom przebieg reakcji w konwertorze odbywa się w stanie bliskim równowagi termodynamicznej, wzrasta szybkość tworzenia żużla, poprawia się odfosforowanie. Odwęglenie nie wymaga nadmiaru tlenu w kąpieli szczególnie przy niskich zawartościach węgla, obniża się zawartość tlenków żelaza w żużlu. Zmniejszają się starty żelaza z żużlem, wzrasta uzysk metalu, glinu i żelazostopów. Mniejsze przetlenienie metalu i żużla poprawia warunki pracy wyłożenia ogniotrwałego.

W fazach wytopu podczas ,których w konwertorze znajduje się ciekły metal, a konwertor znajduje się w położeniu pionowym, szczególnie podczas świeżenia kąpielii metalowej tlenem konieczne są wyższe wartości przepływów niż w okresie, w którym konwertor jest nienapełniony lub znajduje się w pozycji przechylonej. W samym okresie świeżenia kąpielii wielkość przepływu gazu również winna się zmieniać. Mniejszy przepływ konieczny jest w okresie intensywnego utleniania węgla, kiedy to kąpiel jest mieszana przez wydobywające się gazowe tlenki węgla – produkt reakcji utleniania. Większe zapotrzebowanie występuje na początku świeżenia przed zapoczątkowaniem reakcji intensywnego utleniania węgla, oraz pod koniec dmuchania tlenu, przy niskich koncentracjach węgla w kąpielii.

Zróżnicowane wymagania, co do zawartości azotu dla różnych gatunków stali jak również względy ekonomiczne (różnica w koszcie argonu i azotu) powodują, że w trakcie poszczególnych faz wytopu zmienia się rodzaj stosowanego gazu. W tabeli przedstawiono dobór kluczy dmuchania dla wymaganych zawartości azotu w gotowej stali

Dobór kluczy dmuchania dla wymaganych zawartości azotu w gotowej stali

| | | | |
|---|-------------|------------|--|
| dla gatunków z zawartością N2 | Max 0,0020% | klucz nr 1 | |
| dla gatunków z zawartością N2 oraz dla gatunków z zawartością C – 0,07 – 0, 18% przeznaczonych na COS | max 0,0040% | klucz nr 2 | |
| dla gatunków z zawartością N2 | max 0,0070% | klucz nr 3 | |
| dla gatunków z zawartością oraz dla gatunku bez oznaczenia N2 | max 0,0090% | klucz nr 4 | |
| dla gatunku z wymaganą zawartością N2 | => 0,0090% | klucz nr 5 | |

W czasie spustu wytopu do kadzi stalowniczej dodawane są aluminium, żelazostopy i nawęglacz w celu odtlenienia i uzupełnienia składu chemicznego stali. Koniec spustu następuje w chwili pojawienia się żużla w otworze spustowym. Zamknięcie otworu spustowego w celu odcięcia żużla w warunkach Mittal Steel Poland O/Kraków polega na wprowadzeniu do konwertora kuli ceramicznej za pomocą urządzenia mechanicznego. Kadz z płynną stalą przekazywana jest na stanowisko rafinacji pozapiecowej a pozostały w konwertorze żużel zlewany jest przez gardziel do kadzi żużlowej i przekazywany do dalszego przerobu .

Żużel, który przedostaje się do kadzi stalowniczej w czasie spustu ma bardzo niekorzystny wpływ na zgar żelazostopów i czystość stali: dlatego powinno się stosować wszystkie możliwe sposoby, które ograniczałyby względnie eliminowały by możliwość przedostawania się żużla do kadzi.

Na stalowni w Mittal Stal Poland o/Kraków stosuje się przed spustem zamykanie otworu spustowego korkiem termoplastycznym. Blokuje on przedostawanie się żużla do kadzi na początku spustu. Na koniec spustu metalu automatycznie przez zainstalowane urządzenie mechaniczne podawana jest kula ceramiczna, której ciężar właściwy dobrany jest tak, że po wrzuceniu do konwertora pływa ona na granicy podziału ciekły metal – ciekły żużel. Zazwyczaj ciężar właściwy ceramicznej kuli waha się w granicach 4kg/dcm^3 . Przy końcu wypływu metalu z pieca kula wciągana jest do otworu spustowego i zamyka go, odcinając tym samym spływanie żużla do kadzi. Skuteczność opisanego sposobu odcinania żużla piecowego jest na poziomie około 60-70%.

Lepszą metodą odcinania żużla jest zastosowanie tzw. „ceramicznych spławików”, których skuteczność w porównaniu z działaniem kul jest większa, bo wynosi ok. 90 – 95%. Bardzo dobre wyniki osiąga się również poprzez zainstalowanie kamery termowizyjnej do obserwacji przebiegu spustu. Obecnie taka kamera została zainstalowana w Krakowie na konwertorze nr 1 celem poprawienia skuteczności zabezpieczenia się przed dostaniem się żużla do kadzi stalowniczej. Jest ona tak wyskalowana, że daje pulpitemu sygnał dźwiękowy i wizualny o pojawieniu się żużla w trakcie spustu co umożliwia odpowiednio szybką reakcję pulpitemu, który może podnieść konwertor zanim żużel przedostanie się do kadzi stalowniczej.

Na *rys.11 i 12* przedstawiono fotografię stosowanych kul ceramicznych do zamykania konwertora, a na kolejnym rysunku fragment urządzenia do podawania kul.

Poniżej przedstawiono wybrane operacje technologiczne wytopu stali w konwertorze Huty Mittal Steel Poland O/Kraków. Zdjęcia te wykonano zostały przez dyplomanta podczas obserwacji i zbierania danych do pracy.



Rys.11. Kule ceramiczne do zamykania otworu spustowego



Rys. 12. Urządzenie do podawania kul ceramicznych do konwertora



Zasypywanie konwertora złomem.



Zalewanie konwertora ciekłą surówką.



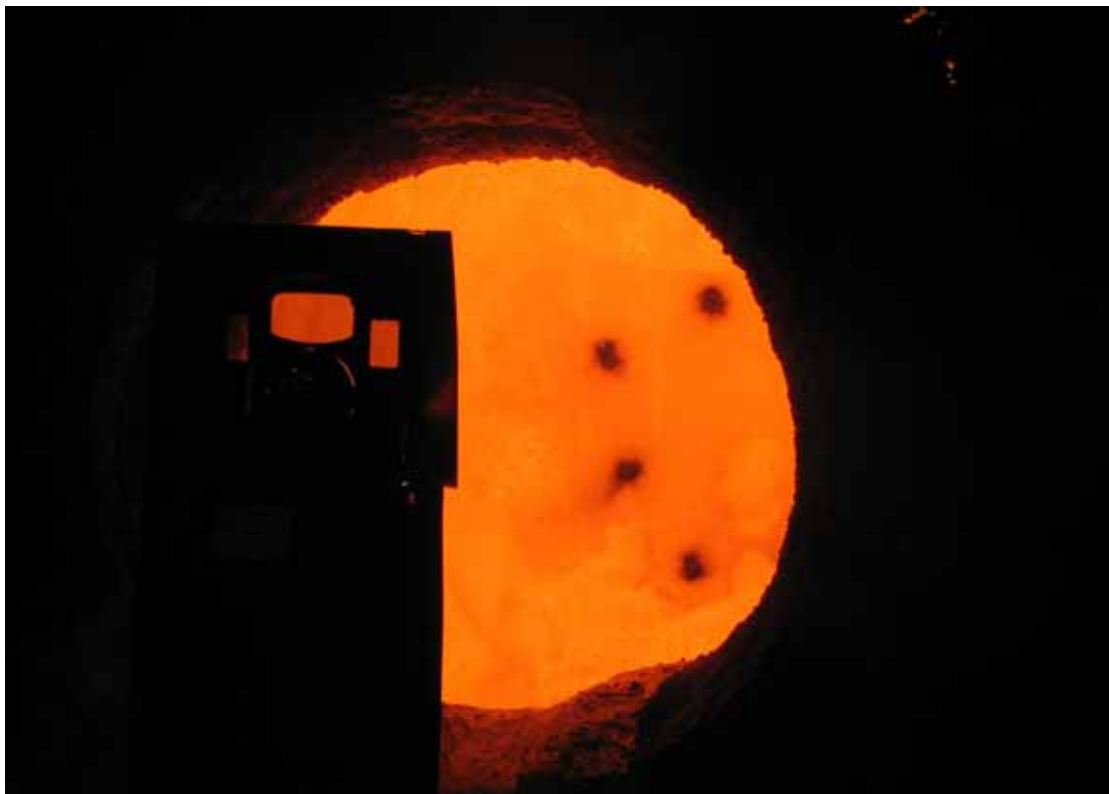
Wytapianie stali w konwertorze tlenowym.



Spust metalu z konwertora do kadzi stalowniczej.



Dodawanie żelazostopów w czasie spustu metalu.



Dysze cylindryczne dolnego dmuchu widoczne jako ciemne plamy na dennicy konwertora.