

# Innowacyjny remont głowic ścian grzewczych baterii koksowniczej z wykorzystaniem krzemionki amorficznej

## An innovative renovation of the coke oven battery heating walls heads with the use of amorphous silica

W artykule opisano najistotniejsze zagadnienia związane z realizacją wybranych metod remontowych ścian grzewczych baterii koksowniczej. Wykazano ich wady i zalety. Na ich tle przedstawiono nową, zrealizowaną koncepcję remontu części głowicowej ścian z częściowym użyciem krzemionki amorficznej. Koncepcja ta może się stać przyczynkiem dla projektowania nowych baterii z wymurówką części głowicowej, wykonaną z materiału o różnej rozszerzalności w stosunku do tradycyjnej krzemionki, lecz odpornego na szoki temperaturowe.

**Słowa kluczowe:** metody remontowe, głowice ścian grzewczych, baterie koksownicze

The article describes the most important issues related to the implementation of selected methods of renovation of heating walls of a coke oven battery. Their advantages and disadvantages have been shown. A new, realized concept of renovation of the head part of walls with partial use of amorphous silica was presented. At the same time, this concept may contribute to the design of new batteries with a lining of the head part made of a material with different expansion compared to traditional silica, but resistant to temperature shocks.

**Keywords:** methods of renovation, heating walls heads, coke oven battery

### Wprowadzenie

Przemysł koksowniczy pozostaje ważną gałęzią produkcji przemysłowej. Mimo ciągłego rozwoju alternatywnych metod wytwarzania stali, obecnie nadal ponad 70% światowej produkcji opiera się na zintegrowanym procesie *wielki piec – piec konwertorowy*, gdzie koks pełni istotną funkcję. Obok rudy żelaza, koks stanowi istotny komponent wsadu wielkopieczowego, wykorzystywany jako reduktor (redukcja tlenków żelaza zawartych w rudzie), paliwo (dostarczenie energii do procesu) i ruszt podtrzymujący słup materiałów wsadowych (zapewnienie gazoprzepuszczalności złoża i spływu ciekłego metalu do dolnych części wielkiego pieca – rys. 1). Polski przemysł koksowniczy jest europejskim liderem eksportu produkowanego koksu – ponad 70% produkcji kierowana jest na eksport, również do krajów poza UE. Aby zapewnić odpowiedni potencjał produkcyjny, właściwą efektywność ekonomiczną i ekologiczną procesu wytwarzania koksu, oprócz odnowienia potencjału produkcyjnego (budowa nowych baterii koksowniczych w miejsce wyeksploatowanych jednostek) niezbędne jest prowadzenie działań w kierunku wydłużania żywotności baterii koksowniczych (rys. 2) będących w eksploatacji tzw. *life-prolongation*. Obserwowany w ostatnim czasie rozwój technologii remontów baterii koksowniczych wychodzi na przeciw temu wyzwaniu.

Coraz częściej oprócz tradycyjnej metody torkretowania i napylania obmurza komór koksowniczych stosuje się metodę „spawania ceramicznego”. Metoda ta, choć droga i czasochłonna, pozwala, zwłaszcza w połączeniu z zastosowaniem modułów z krzemionki amorficznej, na znacznie bardziej trwałe usuwanie defektów ceramiki baterii w stosunku do metody tradycyjnej.

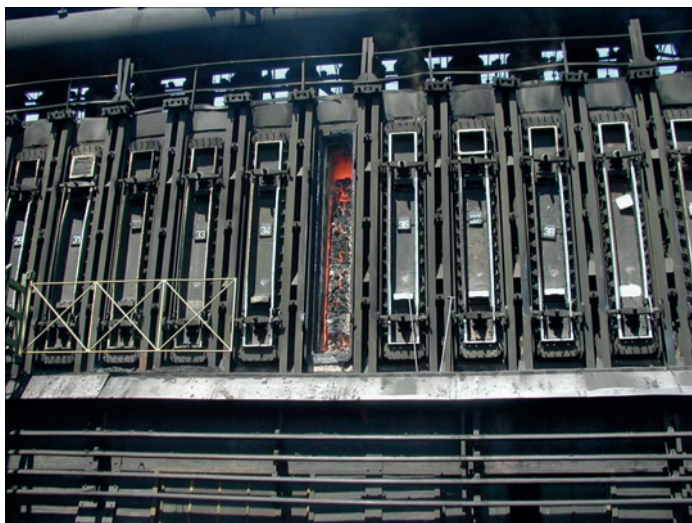


Rys. 1. Wielki piec w Dąbrowie Górniczej – ArcelorMittal S.A.

Wymiana części, a nawet całości ceramiki poszczególnych ścian grzewczych baterii koksowniczej odbywa się poprzez zastąpienie jej materiałem wykonanym z krzemionki amorficznej. Materiał ten, choć z pozoru bardzo drogi, charakteryzuje się bardzo wysoką odpornością na zmiany temperatury i prawie zerową rozszerzalnością termiczną w czasie jego rozgrzewania (do temperatury eksploatacji baterii), co w znacznej mierze upraszcza technologię remontu przy zagwarantowaniu jego skuteczności, skraca jego czas, co w konsekwencji prowadzi do znacznych oszczędności finansowych [1]. Więcej na temat współczesnych technologii remontu baterii koksowniczych można znaleźć np. w pracy Suchorukowa [2] i materiałach konferencyjnych poświęconych temu zagadnieniu [3, 4].

O wyborze technologii remontu baterii koksowniczej i sposobu jej wdrożenia decyduje wiele czynników, m.in.:

- jej stan techniczny, w tym szczególnie obmurza ścian grzewczych,
- jej konstrukcja,
- wymagana trwałość remontu,
- koszt i czas trwania remontu,
- dostępność materiałów.



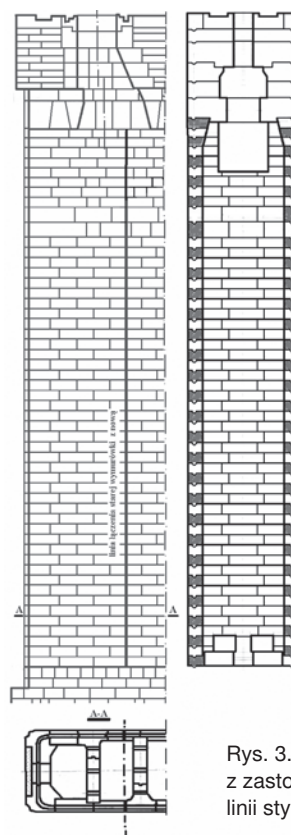
Rys. 2. Bateria koksownicza w Zdieszowicach – ArcelorMittal S.A.

### Uwarunkowania dla wybranej technologii remontu

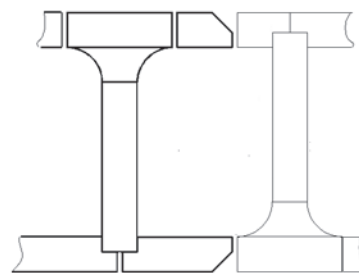
Bateria koksownicza, której remont opisano w artykule, posiadała liczne, istotne uszkodzenia ceramiki komór. Oprócz wżerów i ubytków, obejmujących niejednokrotnie duże powierzchnie ścian, występowały na niektórych z nich poważne deformacje, prowadzące nawet do oderwania lica ściany na całej jej wysokości. Ponadto w licznych kanałach grzewczych tej baterii występowały zagruzowania kanałów grzewczych i nieszczelności ich obmurza, powodujące infiltrację gazu surowego do systemu opalania. W tej sytuacji podejmowane działania profilaktyczne (torkretowanie, „spawanie ceramiczne”) dla kilku komór okazały się nieskuteczne. Ponieważ dysponowano oryginalnymi kształtkami do przebudowy kilku skrajnych kanałów grzewczych, a stwierdzone usterki ścian ulokowane były głównie w ich części głowicowej, zdecydowano się na wymianę właśnie tych części obmurza kilku najbardziej zniszczonych komór. Taka decyzja zrodziła jednak wiele problemów, których rozwiązanie gwarantowałoby skuteczność zaplanowanych prac remontowych.

Najistotniejszym problemem do rozwiązania było ustalenie sposobu łączenia „starej” wymurówki z częścią odbudowywaną. Teoretycznie istnieje kilka metod rozwiązania tego problemu. Jedną z nich jest wykonanie pionowej linii styku na granicy odbudowy. W metodzie tej rozbiórka remontowanej części zostaje wykonana do granicy wiązacza kanału grzewczego pozostającego w eksploatacji, a wozówki wystające ponad tę część (co druga warstwa raz z lewej, a raz z prawej strony ściany) są skracane dla zachowania pionowości i ciągłości spoiny. Spoina ta (rys. 3) w czasie odbudowy wypełniona jest zaprawą.

Inną z metod jest wykonanie pachwiny w miejscu łączenia wozówek. Jest to metoda podobna do opisanej powyżej, lecz wszystkie warstwy nowych wozówek posiadają w tym wypadku wyprofilowaną pachwinę o wymiarach 30 x 50 mm (rys. 4) w styku obu murów. Przeznaczona jest ona na połączenie na gorąco (po rozgrzaniu odremontowanej części) spawu ceramicznego, poprawiającego szczelność połączenia i wzmacniającego odporność na odkształcenia.

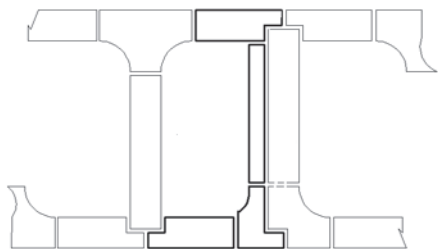


Rys. 3. Łączenie wozówek z zastosowaniem pionowej linii styku na granicy odbudowy



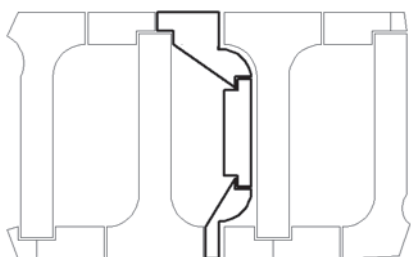
Rys. 4. Łączenie wozówek z zastosowaniem pachwiny

W celu wzmocnienia sztywności wozówek w kanale granicznym można zastosować belkę poprzeczną (rys. 5). Belka ta może być przygotowana np. z rozciętego wzdłuż wiązacza, zabudowanego na styk z granicznym, nierozbieranym, wiązaczem. W tym przypadku granica odbudowy przebiega wzdłuż krawędzi odpowiednio przyciętych wozówek.



Rys. 5. Skrzynkowa konstrukcja kanału granicznego z wykorzystaniem kształtek projektowych

Inną wersją tej metody jest zastosowanie specjalnie uformowanych kształtek aż do strefy przeważu (rys. 6). Są to wozówki oraz belki wiązaczowe, upodabniające odbudowywany kanał do kanału skrajnego, co zdecydowanie wzmacnia jego odporność na naciski od strony wsadu.



Rys. 6. Skrzynkowa konstrukcja kanału granicznego oparta na specjalnie uformowanych kształtkach

Zupełnie inne podejście zaproponowane zostało przez firmę *OGNEUPORKOKSSERVIS* [5]. Ogólnie metoda ta polega na naprzemiennej odbudowie pasa muru i jego podgrzewaniu w otulinie izolacyjnej. Taki sposób postępowania pozwala na zachowanie istniejących wiązań między „starą” i „nową” wymurówką.

Można również teoretycznie rozpatrywać odbudowę „nowej części” wymurówki z zachowaniem naturalnych wiązań na kanale granicznym z jednoczesnym rozgrzewaniem odbudowywanej w nim części ceramiki. Pozostała część odbudowywanej ceramiki, pozostająca poza zasięgiem oddziaływania wysokich temperatur, stopniowo, idąc w kierunku kanału skrajnego, rozgrzewana jest dopiero po zakończeniu remontu. Zgodnie z tym linia zabudowy, w miarę wzrostu wymurówki, odbiega coraz bardziej od poziomu, umożliwiając tym samym dopasowanie wiązań w kanale granicznym bez konieczności stałego rozgrzewania całości odbudowywanej ceramiki. Choć przedstawiona metoda to tylko niesprawdzona koncepcja, to jednak ma swoje oparcie w obserwacjach już zrealizowanych remontów.

Najkorzystniejszym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie do odbudowy krzemionki amorficznej. Odbudowa następuje wówczas według istniejącej linii zabudowy, tak na wysokości, jak i na długości i szerokości, z zachowaniem istniejących wiązań.

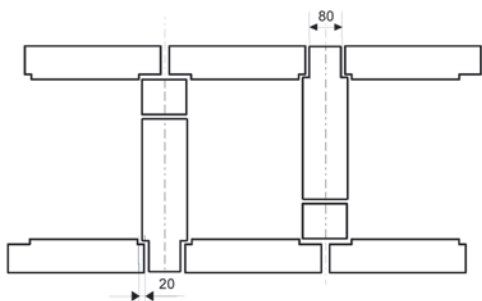
Rozgrzewanie takiego materiału może być wykonane w ciągu 3-5 dni. Ponadto można w metodzie tej zmienić konstrukcję i gabaryty kształtek w taki sposób, aby jedna kształtka obejmowała np. całość jednego kanału na wysokości dwóch kanałów. Na skalę przemysłową metoda ta stosowana jest obecnie przez wiele wiodących firm remontowych [6-8].

Każda z wymienionych metod ma swoje wady i zalety. Zastosowanie pionowej linii styku na granicy odbudowy, niezależnie od sposobu dalszego połączenia odbudowywanej części z częścią pozostającą w eksploatacji (na styk, pachwina, konstrukcja skrzynkowa), umożliwia wykorzystanie do remontu oryginalnego materiału z lepszym lub gorszym skutkiem. Jednak wymagane jest wówczas cięcie rozgrzanych, zabudowanych kształtek na całej wysokości ściany, co nie dla każdej konstrukcji ściany jest możliwe do zrealizowania.

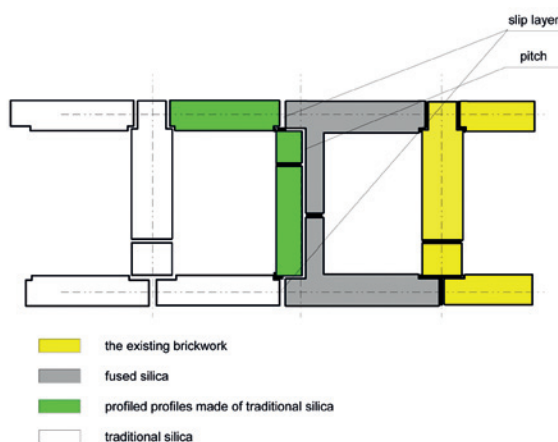
Zabudowa „nowych” kształtek, z jednoczesnym ich podgrzewaniem, choć pozwala uniknąć wcześniej wspomnianych ograniczeń, niesie ze sobą duże ryzyko uszkodzenia wymurówki na kanale styczonym już w momencie jej zabudowy. Trzeba bowiem w realizacji tej metody w stosunkowo krótkim czasie doprowadzić do wzrostu temperatury odbudowywanej ceramiki do co najmniej 200-300°C, co gwarantowałoby, dla uniknięcia rozrywania wiązań na „starej” części, jej rozszerzenie w minimalnie oczekiwanym zakresie. Jednak równocześnie znaczne zmiany objętościowe rozgrzewanego w tym zakresie temperatury tradycyjnego materiału krzemionkowego, przy niedostatecznym rozłożeniu ich w czasie, często prowadzą do spękań, a nawet całkowitej destrukcji tak rozgrzanych kształtek. Problem ten zresztą może dotyczyć również metod z zastosowaniem pionowej linii styku na granicy odbudowy, kiedy ze względu na konieczność utrzymania dostatecznie wysokiej temperatury na części niepodlegającej odbudowie dojdzie do naturalnego, zbyt szybkiego nagrzewania odbudowywanej części ceramiki. Odbudowa części głowicowej z krzemionki amorficznej w proponowanym przez wiodące firmy rozwiązaniu, choć nie niesie za sobą prawie żadnych zagrożeń dla trwałości odbudowywanej ceramiki, jest jednak metodą stosunkowo drogą, niepozwalającą na ewentualne wykorzystanie już zmagazynowanego tradycyjnego materiału krzemionkowego.

## Realizacja wybranej technologii remontu

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania zdecydowano się na opracowanie i wdrożenie nowej technologii remontu głowic ścian grzewczych baterii koksowniczej, z częściowym wykorzystaniem krzemionki amorficznej. Kształtki z krzemionki amorficznej, zgodnie z opracowaną koncepcją, zostały zabudowane jedynie na kanale styczonym do części nieremontowanej. Pozwoliło to, po pierwsze, na zachowanie naturalnych wiązań w miejscu zabudowy nowych kształtek bez konieczności cięcia „starej” części. Było to o tyle istotne, że konstrukcja remontowanej baterii praktycznie uniemożliwiała wykonanie w tym miejscu pionowej linii zabudowy. Wozówki w tym miejscu stykałyby się z wiązaczem na przestrzeni zaledwie 20 mm, zaś wymiar wiązacza (którego należałoby ewentualnie przyciąć na połowę grubości) wynosiłby zaledwie 80 mm (rys. 7).



Rys. 7. Konstrukcja ściany grzewczej remontowanej baterii koksowniczej



Rys. 8. Rozwiązanie konstrukcyjne odbudowywanej głowicy ścian grzewczych remontowanej baterii koksowniczej



Rys. 9. Widok rozwiązania konstrukcyjnego odbudowywanej głowicy ścian grzewczych remontowanej baterii koksowniczej

Wykonanie cięcia na tak małej powierzchni doprowadziłoby z pewnością do wykruszenia pozostawianej części uciętej w ten sposób kształtki. Po drugie, użycie w tym miejscu kształtek z krzemionki amorficznej umożliwiło utrzymanie dostatecznie wysokich temperatur na części niepodlegającej wymianie bez ryzyka uszkodzenia nowo zabudowywanych kształtek na skutek szokowego wzrostu ich temperatury.

Nowe kształtki z krzemionki amorficznej zostały wykonane w ten sposób, aby ich druga strona (poza kanałem styčnym) dawała na całej wysokości ściany linię prostą. Ponadto w miejscu łączenia za kanałem usytuowanym poza tą linię została w nich odformowana dodatkowa belka, przeciwdziałająca ewentualnej deformacji odbudowywanej ściany w miejscu zastosowanej pionowej linii styku. Jednocześnie połączenie dalszej części głowicy, wykonane z tradycyjnej krzemionki, zostało tak zmodyfikowane (poprzez odpowiednie

docięcie), aby tworzyło niezależną konstrukcję, gwarantującą pewną szczelność systemu grzewczego odbudowanej części (rys. 8). Pomiedzy częścią wykonaną z krzemionki amorficznej a częścią wykonaną z tradycyjnej krzemionki została wykonana warstwa poślizgowa, umożliwiająca niezależną ich rozszerzalność w czasie rozgrzewania. Oczywiście część z krzemionki tradycyjnej została w tym przypadku odbudowana z zachowaniem projektowych wysokości poszczególnych warstw, zaś część wykonana z krzemionki amorficznej na wysokości poszczególnych warstw została dostosowana do zaistniałej sytuacji na kanale granicznym (rys. 9).

Tak wykonana wymurówka została rozgrzana w tradycyjny sposób, tj. za pomocą piecyków rozpałowych i po wykonaniu niezbędnych prac profilaktycznych na części niepodlegającej wymianie ceramiki wprowadzona do normalnej eksploatacji. Odremontowane komory uzyskały pełną sprawność i – co najistotniejsze – nie wykazują żadnych nieszczelności zarówno w części niepodlegającej wymianie ceramiki, jak i na łączeniu „nowej” ceramiki z częścią „starą”, i to nie tylko w obszarze krzemionki amorficznej, ale również w części odtworzonej z tradycyjnego materiału krzemionkowego.

## Podsumowanie

Prowadzenie remontów baterii koksowniczej, a właśnie tego typu działania będą w światowym koksownictwie coraz częściej podejmowane, wymaga wszechstronnej analizy wielu uwarunkowań. Nie każda bowiem technologia remontowa, mimo wyraźnego w ostatnim czasie ich rozwoju, jest w stanie sprostać aktualnym wymaganiom. Jak wykazano w niniejszym artykule właśnie niestandardowe działania mogą, przy oczekiwanej skuteczności, spełnić wszystkie oczekiwania użytkownika tych obiektów. Wypracowana i z pozytywnym skutkiem wdrożona metoda remontu głowic ścian grzewczych baterii, choć opiera się na znanych technologiach, w istotny sposób poszerzyła możliwości jej stosowania. Ponadto wypracowany sposób łączenia krzemionki amorficznej z tradycyjnym materiałem krzemionkowym na długości ściany grzewczej może stać się przyczynkiem dla projektowania nowych baterii z wymurówką części głowicowej wykonaną z materiału o różnej rozszerzalności w stosunku do tradycyjnej krzemionki, lecz odpornego na szoki temperaturowe.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Andreev K., Wijngaarden M., Put P., Tadaion V., Oerlemans O., *Refractories for coke oven wall – operator's perspective*, 7<sup>th</sup> EUROPEAN COKE AND IRONMAKING CONGRESS – ECIC 2016.
- [2] Suchorukow W.I., Śwecow W.I., Čemarda I.A., *Remont kladfi i armirušegog oborudowanija koksowych batarej*, Ekaterinburg 2004.
- [3] Ehemke R., *End flue and through wall repairs – Extension of service life and reduction of Emissions*, 28<sup>th</sup> McMaster Symposium on Iron and Steelmaking, Making your Battery Last for the 21<sup>st</sup> Century, Hamilton, Canada, May 2000.
- [4] Ereno M., de Cordova M., Beltran D., *General revamping of batteries 3 and 4 of Siderar SAIC.*, 26<sup>th</sup> ABM Ironmaking and Raw Materials Seminar, Belo Horizonte, Brazil (in Spanish), September 1995.
- [5] International application under the PCT (N<sup>o</sup> PCT/RU2010/000337)
- [6] Gilroy D., *The future in coke oven wall rebuilds*, "Cokemaking International" 1999, No 2, s.78-82.
- [7] Soonius J., Mazzone C., *Innovations in wall repair systems*, 34<sup>th</sup> International Cokemaking Conference, Roznov 2012.
- [8] Saffrin P., *Coke oven rebuilds with large block technology*, Eurocoke Summit 2012, Barcelona (Spain) 2012.