

Destrukcja żelbetowego komina przemysłowego spowodowana błędami technologii prac remontowych

Prof. dr hab. inż. Mieczysław Kamiński, dr hab. inż. Andrzej Ubysz, Politechnika Wrocławska

1. Przyczyny Uszkodzeń kominów przemysłowych

Kominy przemysłowe należą do konstrukcji, przy projektowaniu których oprócz kryteriów wytrzymałościowych wynikających z obciążeń mechanicznych i termicznych bardzo dużą rolę odgrywają obciążenia chemiczne i technologia wykonania. Nieuwzględnianie przy projektowaniu wszystkich tych czynników może prowadzić do szybkiego niszczenia komina. Najczęściej występującymi uszkodzeniami kominów są: korozja wymurówki (pęknięcie cegieł i rozszczelnienie spoin), zawilgocenie kwasami izolacji termicznej (wełny mineralnej), korozja płaszcza żelbetowego od strony wewnętrznej i zewnętrznej. W przekrojach przerw roboczych pochodzących z okresu budowy metodą deskowań przestawnych zdarza się również korozja na całej grubości płaszcza. W przypadku kominów stalowych, często nie przewiduje się warstwy izolacyjnej lub lokalizuje się ją po zewnętrznej stronie płaszcza i stabilizuje pancerzem ostonowym. Inną formą odsunięcia problemów korozyjnych w kominach stalowych są wkłady ze stali kwasoodpornej.

Przyczynami tych uszkodzeń są: skraplanie się spalin w przewodzie kominowym, błędy podczas wykonywania deskowań przestawnych, niewłaściwa izolacja termiczna, niestaranne zabezpieczenie powłokami antykorozyjnymi. Szczególnym zagadnieniem destrukcji kominów są wtórne uszkodzenia po wykonywanych remontach. W tym przypadku może mieć znaczenie kolejność wykonywanych prac remontowych oraz sposób użytkowania komina w okresie pomiędzy poszczególnymi etapami remontu. W artykule pokazano przykład prac remontowych komina żelbetowego i znaczenie kolejności wykonywania prac remontowych na jego późniejsze użytkowanie.

2. Opis prac remontowych

Zakres prac remontowych zależy od możliwości technologicznych okresowego wyłączenia komina z eks-

ploatacji oraz w niektórych przypadkach od możliwości ekonomicznych Użytkownika. Od strony technicznej zakres ten zależy od stopnia wyeksploatowania elementów konstrukcji. W przypadku komina żelbetowego, elementami, które podlegają najczęściej pracom konserwatorsko-naprawczym są:

prace na zewnątrz komina:

- naprawa ubytków otuliny zewnętrznej powierzchni płaszcza żelbetowego;
- uszczelnianie styków pomiędzy segmentami betonowań w technologii deskowań przestawnych;
- prace dotyczące zabezpieczeń antykorozyjnych stalowych elementów wyposażenia komina (pomosty, szczeble włazowe, instalacje);
- renowacja oznakowania przeszkodowego górnego odcinka komina;

prace wewnątrz komina;

- naprawa wymurówki (wykładziny);
- uzupełnianie lub wymiana izolacji termicznej pomiędzy wymurówką i płaszczem żelbetowym (łącznie z rekonstrukcją wymurówki);

– naprawa płaszcza żelbetowego od strony wewnętrznej – uszczelnianie styków pomiędzy segmentami betonowań, wypełnianie ubytków i nałożenie izolacji powierzchniowej na wewnętrznej stronie płaszcza żelbetowego (łącznie z wymianą izolacji i wymurówki).

Prace na zewnątrz komina są z reguły łatwiejsze organizacyjnie i technologicznie i nie wpływają na doraźne użytkowanie komina. Prace wewnątrz komina wymagają jego wystudzenia i przewietrzenia, co wiąże się z przerwaniem produkcji na kilka lub kilkanaście tygodni. Należy jednak zwrócić uwagę, że są i takie przypadki, w których zatrzymanie ciągu technologicznego i remont wnętrza komina jest równoznaczny z wystudzeniem, a następnie wymianą całej baterii pieca (np. w koksowniach).

Podczas wykonywania kapitalnego remontu, najkorzystniejszym harmonogramem prac remontowych byłaby równoległa naprawa komina od zewnątrz i od wewnątrz. Pozwoliłoby to skrócić remont, choć dla użytkownika

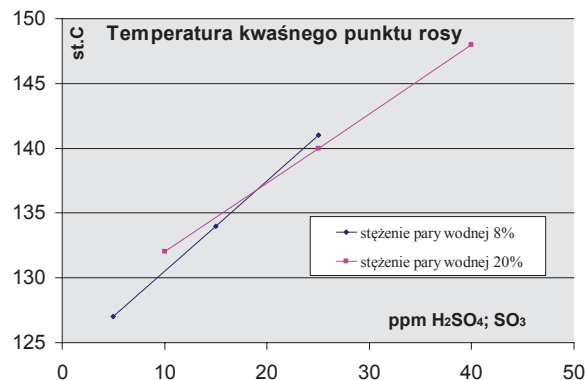
mogłoby to spowodować inne trudności (uzgodnienia terminów, dodatkowe koszty itd.). W opisywanym przypadku Użytkownik rozdzielił prace naprawcze, wykonując w jednym roku remont części zewnętrznej (bez wyłączania komina z ruchu), a w kolejnym roku kalendarzowym – wewnętrznej.

W przypadku prac na zewnątrz komina zaobserwowano, że beton w konstrukcji, pochodzący nawet z jednej betoniarni, wykazuje po kilku latach zróżnicowanie wytrzymałości oraz traci zasadowy odczyn i w następstwie pasywujące właściwości, które chronią zbrojenie w silnie kwaśnym środowisku. Głównym powodem jest proces karbonizacji będący reakcją związków cementu z dwutlenkiem węgla. Planowany remont części zewnętrznej obejmował usunięcie warstw betonu o klasie niższej od projektowanej, reprofilację betonowych ubytków, pokrycie powłokami chroniącymi przed agresywnym środowiskiem przemysłowym oraz pokrycie warstwami nawierzchniowymi (m.in. oznakowanie przeszkodowe). Zastosowano takie powłoki, które od strony zewnętrznej zapewniają ochronę przed oddziaływaniami atmosferycznymi, natomiast pozwalają na migrację cząsteczek wody na zewnątrz płaszcza. Zadbano również o nieprzekraczanie dopuszczalnej nasiąkliwości betonu. Uwzględniono przy tym podział na strefy odpowiadające lokalnej agresywności otoczenia konstrukcji. Wszystkie te prace wykonywano podczas pracy komina. Uznano, że ten etap kończy prace naprawcze zewnętrznej powierzchni komina. Technologia zakładała jednak, że całkowite usunięcie zagrożeń nastąpi po wyremontowaniu wewnętrznej powierzchni komina i pełnym zabezpieczeniu antykorozyjnym powłokami.

Remont wewnętrznej strony komina był bardziej złożony technologicznie i wykonywano go dopiero kilkanaście miesięcy po zakończeniu prac naprawczych zewnętrznej powierzchni. Technologia remontu wewnętrznej części przewidywała wykonanie nowej izolacji o grubości 80 mm z zastosowaniem płyt szkła piankowego o zamkniętych porach, klejonych na kwasoodpornej zaprawie krzemianowej fpk, które są materiałem całkowicie niepalnym, nienasiąkliwym, odpornym na temperatury do +500°C. Wymurówkę wykonano z kształtek kwasoodpornych. Jako spoiwo zastosowano również zaprawę kwasoodporną. Kształtki na wspornikach zostały ułożone na tekturze bezazbestowej BA 700 (2 x 8 mm). Dylatacje zostały wymurwane przy wykorzystaniu kształtek z kapinosami uszczelnione poprzez założenie 3 warstw szczeliwa bezazbestowego, glinokrzemianowego, zbrojonego, suchego (typ 606), kręconego $\phi = 30$ mm.

3. Wpływ harmonogramu prac na stan komina

Wewnętrzna część komina jest narażona na środowisko silnie kwasowe. Większość uszkodzeń to skutki oddziaływania skroplonych spalin. Najskuteczniejszą pro-



Rys. 1. Schematyczny wykres kwaśnego punktu rosy – na podstawie [3]

filaktyką byłoby utrzymanie temperatury spalin powyżej temperatury punktu rosy na całej wysokości komina. Teoretyczną temperaturę punktu rosy można łatwo wyznaczyć z równania Clapeyrona, jednak oprócz temperatury i ciśnienia o rzeczywistym skraplaniu spalin decydują jeszcze inne czynniki, jak np. prędkość przepływu, skład chemiczny (w szczególności siarki). Praktycznie temperaturę punktu rosy w pracującym kominie można określić z dokładnością kilku do kilkunastu stopni. Kilka stopni poniżej temperatury punktu rosy przebiega linia temperatur, przy których osiąga się najszybszy przebieg procesów korozyjnych.

Spaliny kominowe charakteryzują się wysoką temperaturą i zapyleniem, zawierają parę wodną, także mogą zawierać pewne ilości kwasu siarkowego i trójtlenku siarki. Skropliny mają odczyn kwaśny, stąd w przypadku kondensacji spalin wprowadza się pojęcie „kwaśnego punktu rosy”. W zależności od stężenia H₂SO₄ (lub SO₃) temperatura kondensacji zmienia się w przedziale 120 ÷ 150°C (rys. 1) [3].

Zakres prac remontowych wewnętrznej części zależy od stanu poszczególnych warstw (wykładziny, izolacji i wewnętrznej strony żelbetowego płaszcza). Najmniejszy zakres prac występuje w przypadku uzupełniania i spoinowania samej wymurówki. Jeżeli jednak wymurówka jest uszkodzona, to najczęściej nastąpiło przedostanie się kwaśnego kondensatu do warstwy izolacyjnej, a praktycznie również do wewnętrznej strony płaszcza żelbetowego. Aby przy dalszej eksploatacji uniknąć skraplania się spalin na ściankach, należy – po uprzednim zdjęciu wymurówki – zadbać o rzetelne wykonanie warstwy izolacyjnej. Równie ważne jest zabezpieczenie żelbetowego płaszcza od strony wewnętrznej, gdyż tą drogą może odbywać się przesączanie kondensatu na zewnątrz komina.

W przedstawionym przypadku remont wnętrza komina wykonano kilkanaście miesięcy po zakończeniu prac na jego zewnętrznej powierzchni. Spowodowało to szereg wtórnych uszkodzeń na zewnętrznej powierzchni płaszcza żelbetowego komina. Poniżej przedstawiono krótki opis najważniejszych uszkodzeń konstrukcyjnych, który charakteryzuje skutki zaistniałych uszkodzeń.

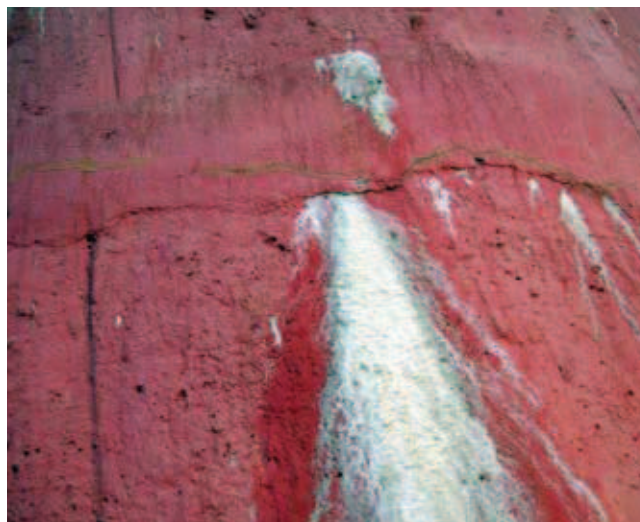


Rys. 2. Uszkodzenia mechaniczne spowodowane głównie korozją siarczanową

- Odspojenia warstw betonu występujące głównie w górnej i środkowej części płaszcza kominowego. Charakteryzuje je układ równoleżnikowy w rozstawach mogących sugerować przerwy robocze, pionowy rozstaw wsporników pod wymurówkę, czy niedostateczną izolację w niektórych segmentach (np. zawilgocona lub opadająca wełna mineralna). Jest to związane ze zjawiskiem dyfuzji gazów (cieczy) i świadczy o niedostatecznej szczelności płaszcza betonowego. Wcześniejsze wykonanie prac remontowych wewnętrznej strony kominu bardzo spowolniłoby proces dyfuzji. Widoczne uszkodzenia to odpadanie otuliny konstrukcyjnej spowodowane korozją betonu – mechaniczną, głównie siarczanową i chlorkową oraz korozją stali (rys. 2). Zjawisko to jest szczególnie widoczne w miejscach, w których występują lokalne braki powłok ochronnych.
- Wykwity spowodowane tęgowaniem węgla wapnia (rys. 3). Rozpuszczając spoiwo, korozja węglanowa



Rys. 4. Rdzawe zabarwienia wycieków i pęknięcia spowodowane pęcznieniem betonu



Rys. 3. Korozja tęgująca. Nalot węgla wapnia

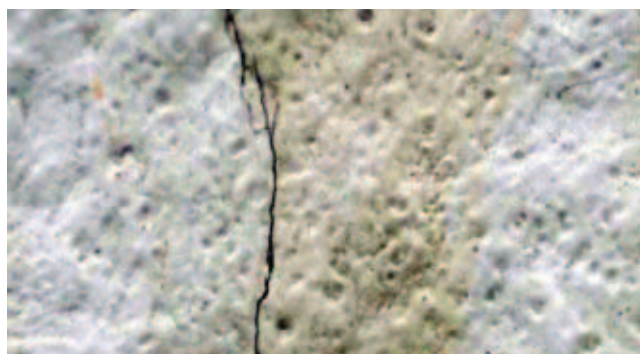
proceedzi również do zniszczenia otuliny (między innymi z udziałem czynników atmosferycznych).

- Rdzawe zacieki spowodowane korozją prętów zbrojeniowych (rys. 4). Są one pochodną reakcji stali i kwasów oraz karbonatyzacją betonu, która wpływa na zmniejszenie chemicznej ochrony stali przed korozją.

Nie wszystkie uszkodzenia zaobserwowane są konsekwencją nieprawidłowej kolejności prac remontowych. W dolnej części kominu zaobserwowano na zewnętrznej powierzchni płaszcza pojedyncze rysy o rozwarości $0,1 \div 0,4$ mm. Mają one charakter rys skurczowych lub termicznych i wpływają one na szczelność otuliny. Rysy te pojawiły się jednak w krótkim czasie po wykonaniu żelbetowego płaszcza (rys. 5).

Ponadto zaobserwowano:

- Lokalne, powierzchniowe złuszczenia powłok występujące w większości w górnej części kominu. Uszkodzenia te są charakterystyczne dla wad materiałowych lub są konsekwencją niezachowania reżimu technologicznego podczas układania warstw (niedostatecznie czysta powierzchnia, niesprzyjające warunki atmosferyczne – mróz itd.)
- W górnej części lokalne zabrudzenia wyciekami i nalotami, które wpływają na pogorszenie funkcji ostrze-



Rys. 5. Rysy o szerokości do 0,4 mm

gawczej malowanych znaków. Zjawisko to nie stanowi zagrożenia dla komina, jednak ze względu na istniejące przepisy w komunikacji lotniczej, stanowią wymóg niezbędny do spełnienia.

4. Wnioski końcowe

Technologia remontu zarówno zewnętrznej, jak i wewnętrznej części płaszcza komina była poprawna. Z punktu widzenia eksploatacji komina istotną okolicznością był brak synchronizacji w czasie remontów obu tych stron komina. Prace przy remoncie zewnętrznej części komina wyprzedziły o około 1 rok prace przy remoncie jego wewnętrznej części, co było przyczyną wielu uszkodzeń wtórnych. Na podstawie opisanego przypadku przedstawiono wnioski, które mają charakter ogólny, a dotyczą harmonogramu i technologii prac remontowych kominów.

1. Większość oddziaływań destrukcyjnych na płaszcza kominowy ma swój początek po wewnętrznej stronie przewodu kominowego. Źle wykonana izolacja termiczna i temperatura spalin oscylująca wokół temperatury punktu rosy powodują skraplanie silnie agresywnych spalin na ścianach wymurówki, a następnie szybkie rozszczelnienie tej wymurówki (głównie spoin). Agresywny roztwór kwasowy penetruje następnie płaszcza żelbetowy niszcząc strukturę betonu i zewnętrzne powłoki ochronne.

2. Technologia prac naprawczych wymaga w pierwszej kolejności usunięcia najważniejszych przyczyn procesów korozyjnych. Prace remontowe od wewnętrznej strony komina powinny być prowadzone nie później, niż po zewnętrznej. Pozwoli to zabezpieczyć płaszcza żelbetowy przed czynnikami destrukcyjnymi penetrującymi warstwy komina na całej grubości przewodu.

3. W próbkach pobranych z żelbetowego płaszcza stwierdzono dużą ilość węglanów, które oddziałują chemicznie na beton (ługowanie) oraz siarczanów i chlorków niszczących go mechanicznie (siarczany i chlorki). Bardzo dużą rolę ochronną spełniają więc prawidłowo dobrane materiały powłokowe na zewnętrznej powierzchni komina.

Podczas ustalania harmonogramu prac remontowych należy zapoznać się z projektem technicznym obiektu, z zastosowanymi materiałami i technologiami napraw. Dotyczy to w szczególności izolacji i powłok ochronnych. Prawidłowa metoda i harmonogram napraw pozwolą znacznie wydłużyć okresy pomiędzy kolejnymi remontami.

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] PN-86/B-01811: Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Ochrona materiałowo-strukturalna
 [2] Kamiński M., Ubysz A., Orzeczenie techniczne dotyczące przyczyn uszkodzeń komina żelbetowego. Wrocław 2011
 [3] Opis patentowy PL185482 – Edward Wojnar, AGH Kraków, Urządzenie do pomiaru punktu rosy, szczególnie w spalinach kotłowych. Urząd Patentowy RP 1997

Budownictwo hydrotechniczne

Regulacje rzek i cieków

Konstrukcje oporowe

Budownictwo przemysłowe

ToRel®
 Towarzystwo Robót i Usług Lądowo - Wodnych
 ToRel Spółka z o.o.

ul. Daszyńskiego 95, 59-900 Zgorzelec
 tel. (75) 648 12 20, fax (75) 648 12 21
 torel@torel.com.pl

www.torel.com.pl