

Bogusław Ładecki\*

Katedra Projektowania i Eksploatacji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, AGH w Krakowie

# Badania diagnostyczne filtra procesowego PCI z przenośnikiem po pożarze

## Diagnostics tests of the PCI process filter with a conveyor after a fire

### STRESZCZENIE

W referacie omówiono skutki spowodowane wystąpieniem pożaru filtra procesowego PCI z przenośnikiem zgarniakovym, będącego elementem instalacji wdmuchiwania pyłu węglowego do Wielkiego Pieca. Przeprowadzone badania diagnostyczne, w których skład wchodziło wykonanie badań nieniszczących, metalograficznych i pomiarów twardości, dały podstawę do wskazania przyczyn wystąpienia kolejnych awarii filtra, jak również sformułowania odpowiednich zaleceń diagnostycznych.

**Słowa kluczowe:** filtr procesowy; pożar; zmęczenie materiału; badania nieniszczące

### ABSTRACT

The paper discusses the effects of the fire in the PCI process filter with a scraper conveyor, which is an element of the coal dust injection system into the Blast Furnace. The conducted diagnostic tests, which included the performance of non-destructive, metallographic and hardness tests, gave the basis to indicate the causes of subsequent filter failures, as well as to formulate appropriate diagnostic recommendations.

**Keywords:** process filter; fire; material fatigue; non-destructive testing

### 1. Wstęp

Przedmiotem badań jest filtr tkaninowy PCI z przenośnikiem zgarniakovym produkcji niemieckiej, zainstalowany w budynku głównym wdmuchiwania pyłu zgodnie z rys. 1, będący elementem instalacji wdmuchiwania pyłu węglowego do Wielkiego Pieca (WP) zlokalizowanej w jednej z hut na południu Polski. Szkic filtra z przyjętą numeracją segmentów w obszarze przenośnika pokazano na rys. 2.

Podczas uruchamiania urządzenia przez producenta, spaleni uległy workowe filtry tkaninowe, co spowodowało znaczne podwyższenie temperatury skutkujące wystąpieniem trwałych deformacji filtra w obszarze konstrukcji przenośnika zgarniakovego. Urządzenie włączono do eksploatacji po przeprowadzeniu wymiany filtrów workowych oraz uszczelnieniu konstrukcji filtra, bez przeprowadzenia jego demontażu oraz naprawy lub rekonstrukcji zdeformowanych elementów. Po ośmiu latach eksploatacji, w wyniku występowania nieszczelności filtra, zdemontowano izolację termiczną, co ujawniło zniszczenie śrub łączących konstrukcję obudowy przenośnika z górną częścią filtra w obszarze karbu w bezpośrednim sąsiedztwie napędu, wraz ze znacznymi deformacjami konstrukcji filtra w tym obszarze konstrukcji. Przeprowadzono wymianę śrub wraz z uszczelnieniem filtra i wymianą kilku filtrów workowych, przy czym w związku ze znacznymi deformacjami i brakiem możliwości zastosowania śrub po stronie ściany zachodniej filtra, w miejsce połączeń śrubowych zastosowano cztery ścigi.

Dwa lata później nastąpiła kolejna awaria filtra, podczas której stwierdzono znaczny wzrost jego temperatury, spowodowany pożarem filtrów workowych, co w konsekwencji doprowadziło do występowania uszkodzeń opisanych w dalszej części pracy.

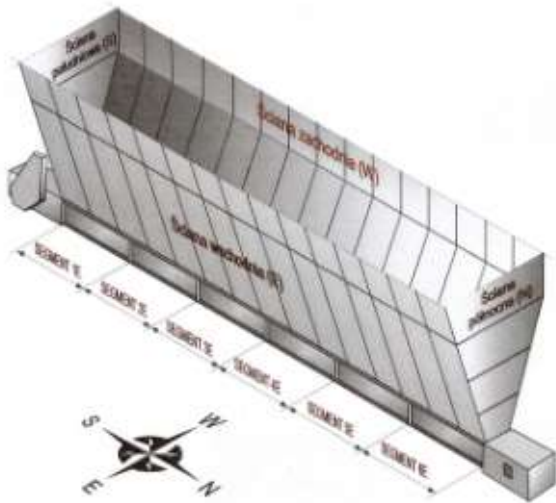
Celem badań było określenie przyczyn wystąpienia uszkodzeń filtra wraz z podaniem zaleceń diagnostycznych.



Rys. 1. Schemat usytuowania filtra [1].

Fig. 1. Diagram of the filter location [1].

\*Autor korespondencyjny. E-mail: boglad@agh.edu.pl



**Rys. 2.** Widok filtru od strony północno-zachodniej z przyjętą numeracją segmentów w obszarze przenośnika [1].

**Fig. 2.** View of the filter from the north-west side with the adopted numbering of segments in the conveyor area [1].



**Rys. 3.** Rozległe deformacje z dużą ilością masy uszczelniającej i jednocześnie z brakiem szczelności dla niektórych obszarów konstrukcji filtru [1].

**Fig. 3.** Extensive deformations with a lot of sealing compound and at the same time a lack of tightness for some areas of the filter construction [1].



**Rys. 4.** Uszkodzone, poluzowane i zniszczone połączenia śrubowe łączące obudowę mechanizmów przenośnika z konstrukcją filtru w obszarze segmentów 1, 2 [1].

**Fig. 4.** Broken, loose and damaged screw connections connecting the housing of the conveyor mechanisms with the filter structure in the area of segments 1, 2 [1].

## 2. Badania wizualne filtru

Badania wizualne filtru przeprowadzone po wystąpieniu ostatniej awarii, a następnie podczas demontażu uszkodzonych fragmentów konstrukcji w obszarze przenośnika wykazały występowanie licznych uszkodzeń jego konstrukcji głównie w obszarze przenośnika takich jak [1]:

- silnie zdeformowane z brakiem szczelności liczne elementy w obszarze przenośnika – rys.3,
- uszkodzone i zniszczone liczne połączenia śrubowe łączące obudowę mechanizmów przenośnika z konstrukcją filtru dla strony wschodniej i zachodniej w obszarze segmentów nr 1 i 2 – rys.4,
- znaczne trwałe deformacje po obu stronach obudowy przenośnika o największym nasileniu w obszarze segmentów nr 4 i 5 – rys.5,
- znaczne deformacje w górnej części filtru w obszarze segmentów 1–3 o maksymalnych wartościach stwierdzonych w obszarze segmentu 2: dla strony zachodniej  $f = 40$  mm, dla strony wschodniej  $f = 23$  mm,
- silnie zdeformowane i popękane elementy prowadzenia przenośnika, w tym pęknięte na wskroś spoiny kątowników 60x60 mm na łączniku segmentów nr 2 i 3 obudowy mechanizmu przenośnika z górną częścią filtru.



**Rys. 5.** Znaczące deformacje o maksymalnej strzałce 26 mm w obszarze segmentu 4E obudowy przenośnika od strony wschodniej filtru [1].

**Fig. 5.** Significant deformations with max. value of 26mm in the area of segment 4E of the conveyor housing from the eastern side of the filter [1].



**Rys. 6.** Lokalizacja obszarów karbu „I” i „II” [1].  
**Fig. 6.** Location of the notch areas "I" and "II" [1].

### 3. Badania nieniszczące

Wykonane pomiary grubości filtru nie wykazały występowania znacznie większych ubytków grubości ścianki, w tym lokalnych ubytków korozyjnych.

Na podstawie badań defektoskopowych metodą magnetyczno-proszkową, przeprowadzonych w obszarach karbu I i II zilustrowanych na rys.6 stwierdzono występowanie pęknięć:

- w obszarze karbu „I” dwa pęknięcia: pęknięcie spoiny w narożu o dług. 85 mm i rozgałęzione pęknięcie blachy wraz z blachą nakładkową o dług. 70 mm – z wnętrza filtru wykryto pęknięcie o długości 80 mm,
- w obszarze karbu „II” dwa pęknięcia: pęknięcie spoiny żeberka o dług. 30 mm i pęknięcie blachy wraz z blachą nakładkową o dług. 180 mm – z wnętrza filtru wykryto pęknięcie o długości 130 mm.

### 4. Badania metalograficzne urwanych śrub

Badaniom metalograficznym poddano 5 sztuk śrub gatunku C35 zerwanych blisko łba, pochodzących z obszaru połączenia segmentów nr 1 i 2 obudowy przenośnika z górną

częścią filtru, gdzie zniszczeniu uległy wszystkie połączenia śrubowe [1]. Wykonane oględziny śrub w każdym przypadku wykazały występowanie znacznych trwałych deformacji na powierzchni zwojów gwintu – rys.7, oraz występowanie przelomu ciągliwego [2] – rys.8, lub przelomu zmęczeniowego z widocznymi liniami spoczynkowymi czoła pęknięcia [2] – rys.9. Wykonane obserwacje wykazały występowanie mikrostruktury charakterystycznej dla stali ferrytyczno-perlitycznej o ułożeniu pasmowym, z widocznymi odkształceniami plastycznymi struktury występującymi podczas formowania śruby – rys. 10.

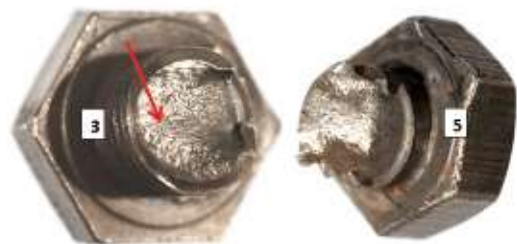


**Rys. 7.** Znaczące trwałe deformacje na powierzchni zwojów gwintu śruby [1].

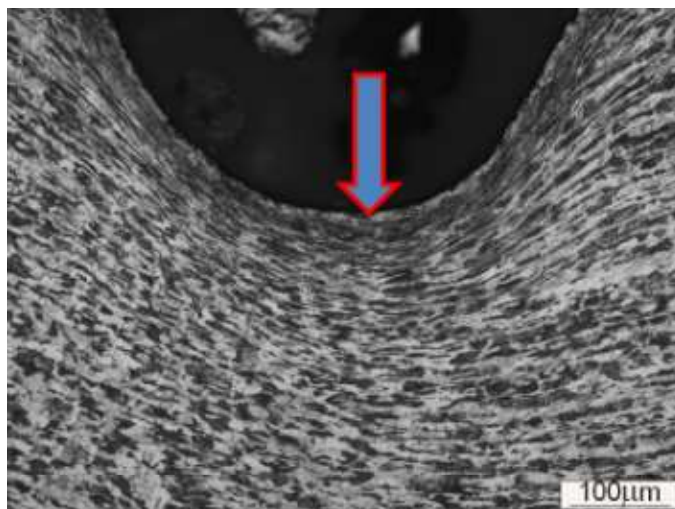
**Fig. 7.** Significant permanent deformations on the surface of the screw thread [1].



**Rys. 8.** Przelom ciągliwy [1].  
**Fig. 8.** Tough breakthrough [1].



**Rys. 9.** Przelom zmęczeniowy z widocznymi liniami spoczynkowymi czoła pęknięcia [1].  
**Fig. 9.** Fatigue breakthrough with visible fracture front rest lines [1].



**Rys. 10.** Dno zwoju gwintu śruby nr 4 – widoczne pasmowe ułożenie mikrostruktury ferrytyczno-perlitycznej silnie odkształconej podczas walcowania gwintu. Trawione nitalem [1].

**Fig. 10.** The bottom of the screw thread No. 4 - visible strip arrangement of the ferritic-pearlitic microstructure, strongly deformed during thread rolling. Etched with nitrite [1].

Pomiary twardości wykonane na górnej powierzchni łba śrub dały wyniki w zakresie 200 - 260 HBW [1].

Wykonane badania metalograficzne wskazują, że śruby uległy zniszczeniu w wyniku działania obciążeń rozciągających i ścinających, a zerwanie śrub następowało w obszarze 4-ego zwoju gwintu licząc od łba (rys. 7) co sugeruje, że śruby mogły być poluzowane. Wykonane oględziny konstrukcji w wielu przypadkach potwierdzały ten wniosek – rys. 4. Prawdopodobną przyczyną zmęczeniowego pęknięcia najbardziej wyłożonych śrub (rys. 9), było poluzowanie połączeń śrubowych spowodowane oddziaływaniem obciążeń dynamicznych związanych z pracą napędu. Po zniszczeniu śrub wobec redystrybucji obciążeń, a w następstwie znacznego przeciążenia innych śrub w tym obszarze konstrukcji (obszar karbu w miejscu połączenia obudowy przenośnika z górną częścią filtru), następowało niszczenie kolejnych poluzowanych śrub w wyniku działania obciążeń rozciągających i ścinających. Taki mechanizm niszczenia kolejnych śrub potwierdzają zaobserwowane silnie odkształcone plastycznie wierzchołki gwintów wskazujące na działanie dużych wartości naprężeń. Temperatura pracy połączeń śrubowych nie przekroczyła temperatury rekrytalizacji, na co wskazują silne odkształcenia ziarn wprowadzone podczas walcowania gwintów [3] (rys. 10).

## 5. Podsumowanie

Wykonane oględziny filtru wskazują, że w wyniku oddziaływania wysokich temperatur podczas pierwszego rozruchu (związanych z wypaleniem filtrów workowych), powstały jego znaczne, trwałe deformacje o największym

nasileniu w obszarze segmentów nr 4 i 5 obudowy przenośnika. Uszkodzenia te nie zostały usunięte, a jedynie przeprowadzono uszczelnienie filtru. Kolejne dwie awarie związane były z rozszczelnieniem filtru. Po ostatniej awarii ponownie nastąpiło wypalenie filtrów workowych, a wskutek pożaru i wcześniejszych uszkodzeń, nastąpiło całkowite zniszczenie śrub po obu stronach filtru w obszarze segmentów nr 1 i 2 obudowy przenośnika. Dla mechanizmów przenośnika stwierdzono występowanie pęknięć oraz deformacji, co miało wpływ na podwyższenie oporów pracy urządzenia. Wykonane badania defektoskopowe, ujawniły występowanie rozległych pęknięć w obu narożach w miejscu połączenia segmentu nr 1 obudowy przenośnika z górną częścią filtru (rys. 6). Jako przyczynę powstania w/w pęknięć wskazać można niewłaściwe rozwiązanie konstrukcyjne w obszarze wzmiankowanych obszarów karbu, gdzie zastosowano zbyt wiotką ścianę czołową od strony południowej filtru narażoną w obszarze w/w karbów na znaczne cykliczne obciążenia pochodzące od dynamicznej pracy napędu. Ścianę tą wykonano z dwóch zespawanych na obwodzie wiotkich blach: czołowej wewnętrznej o aktualnej grubości 4,3 mm i zewnętrznej o grubości 4,0 mm wzmocnionej niewielkimi żeberkami o wysokości zaledwie 50 mm. Pęknięcia zainicjowane od naroży, rozwinęły się dalej powodując powstanie pęknięć na wskroś spoin obu kątowników 60x60 mm, do których za pomocą połączeń śrubowych przymocowane są segmenty obudowy przenośnika.

Wykonane badania metalograficzne 5 szt. urwanych śrub pobranych we wzmiankowanych wcześniej obszarach, dały podstawę do zidentyfikowania mechanizmu niszczenia śrub.

Poluzowanie połączeń śrubowych spowodowane oddziaływaniem obciążeń dynamicznych związanych z pracą napędu było prawdopodobną przyczyną zmęczeniowego pęknięcia najbardziej wyłożonych śrub. Po ich zniszczeniu, wobec redystrybucji obciążeń, a w następstwie znacznego przeciążenia kolejnych poluzowanych śrub nastąpiło niszczenie następnych śrub w wyniku działania złożonych obciążeń rozrywających i ścinających. Powstałe znaczne deformacje, pęknięcia oraz luzowanie i pęknięcie śrub spowodowało rozszczelnienie filtra, a w konsekwencji wystąpienie pożaru filtrów workowych.

Jako bezpośrednią przyczynę kolejnych awarii filtra wskazać można zatem brak usunięcia uszkodzeń głównie w postaci znacznych trwałych deformacji, powstałych podczas pożaru filtrów workowych na etapie rozruchu urządzenia, skutkujących problemami z odpowiednim doszczelnieniem filtra, w połączeniu z niewłaściwym rozwiązaniem konstrukcyjnym zastosowanym w obszarze karbu w miejscu połączenia 1-go segmentu obudowy przenośnika od strony napędu z górną częścią filtra (rys. 6).

Wykonane badania i analizy stanowiły podstawę do przeprowadzenia naprawy rozważanego urządzenia [4, 5, 6, 7], w zakres której wchodziło wykonanie wymiany lub naprawy zdeformowanych fragmentów filtra nie spełniających wymagań normy [4], przeprowadzenie modernizacji konstrukcji filtra w obszarze połączenia 1-go segmentu obudowy przenośnika od strony napędu z górną częścią filtra (rys 6) [5,6,7,8], wymiana wszystkich śrub na nowe zabezpieczone przed luzowaniem, odpowiednie uszczelnienie filtra, oraz naprawa uszkodzeń mechanizmów prowadzenia przenośnika.

#### Podziękowanie

Artykuł powstał w ramach realizacji pracy statutowej nr 16.16.130.942 w Katedrze Projektowania i Eksploatacji Maszyn WIMiR AGH.

#### 6. Literatura

- [1] B. Ładecki, T. Skowronek: Ekspertyza Filtru Procesowego PCI z przenośnikiem po awarii. PREH – praca nie publikowana, Kraków 2015.
- [2] E. Norman Dowling: Mechanical Behavior of Materials. Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue. Printice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, 1999.
- [3] T. Burakowski, T. Wierzchoń: Inżynieria powierzchni meali. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.
- [4] PN-EN 1090:2018 – Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych.
- [5] J. Ziółko, W. Włodarczyk, Z. Mendera, S. Włodarczyk: Konstrukcje stalowe specjalne. Arkady, Warszawa 1995.
- [6] E. Masłowski, D. Spiżewska: Wzmacnianie konstrukcji budowlanych. Arkady, Warszawa 1988.
- [7] K. Rykulak: Pęknięcia w konstrukcjach stalowych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2000.
- [8] J. Ziółko: Utrzymanie i modernizacja konstrukcji stalowych. Arkady, Warszawa 1991.



**Dr inż. Bogusław Ładecki**, jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie. Od wielu lat pełni funkcję Sekretarza Zarządu w Polskim Towarzystwie Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej SIMP, jak również

funkcję członka Zarządu Krakowskiego Oddziału SIMP. Jako autor lub współautor prawie stu publikacji naukowo-badawczych, zajmuje się problemami wytrzymałości, zmęczenia, oraz badań nieniszczących materiałów i konstrukcji.