ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: ENERGETYKA z. 107

Nr kol. 1041

Julian GAIŃSKI Marek PRONOBIS

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechnika Śląska

BADANIA PRZEPŁYWU CIEPŁA W RZECZYWISTYCH OSADACH POPIOŁOWYCHX)

<u>Streszczenie</u>. Opisano metodę i wyniki badań oporu cieplnego osadów popiołu występujących na wyciętych z kotłów rurach przegrzewaczy pary i festonów parownika. Współczynniki cieplnej efektywności wyznaczano mierząc intensywność przenikania ciepła jednocześnie dla rury czystej i zanieczyszczonej. Stwierdzono, że wpływ na pogorszenie się wymiany ciepła ma nie tylko osad popiołu, ale i obecność warstwy produktów korozji na powierzchni rury.

1. WSTEP

Dokładne obliczenie ilości ciepła przekazywanego w kotłowych powierzchniach konwekcyjnych nastręcza wiele trudności z uwagi na brak krajowych danych na temat oporu cieplnego osadów popiołowych. Istniejące dane empiryczne to przede wszystkim wyniki badań [1] stanowiące podstawę metody obliczeniowej [2]. Badania [1] przeprowadzono na zimnym stanowisku i wyłącznie dla sypkich osadów powstałych z popiołów radzieckich paliw. Uzyskane wartości współczynnika zanieczyszczenia znacznie odbiegają od wartości z pomiarów krajowych kotłów. Inny jest też fizykochemiczny obraz osadów kotłowych w urządzeniach krajowych i w ZSRR [3, 4]. Stan taki powoduje konieczność prowadzenia badań oporu cieplnego zanieczyszczeń zarówno na obiektach rzeczywistych, jak i w warunkach ląboratoryjnych [5, 6, 7, 8].

Przedmiotem niniejszego opracowania jest prezentacja badań, prowadzonych na stanowisku badawczym Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej (rys. 1), mających na celu pomiar oporu cieplnego zanieczyszczeń występujących na wyciętych z kotłów rurach przegrzewaczy i festonów. Wyniki badań mogą być wykorzystane do obliczeń cieplnych kotłów oraz do testowania modelu matematycznego wymiany ciepła w rurach peczków konwekcyjnych pokrytych osadami popicłowymi.

x)Praca wykonana w ramach CPBP nr 02.18, kierunek 2, zad. 2.2.5.2.

1989





2. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

Zasadnicze elementy stanowiska to komora spalania i kanał pomiarowy. Komora spalania o wymiarach 0,5 x 0,35 x 0,5 m zaopatrzona jest w dwa palniki typu BIFROHUT 20/40 opalane gazem miejskim o przeciętnej wartości opałowej 18.750 kJ/m³. Palniki umieszczono na przeciwległych ścianach komory. Powietrze do palników tłoczy wentylator typu Wa 1/10 o wydajności 0,05 m³/s i ciśnieniu 330 Pa.

Kanał pomiarowy (rys. 1) o przekroju 0,23 x 0,23 m i wysokości 2,4 m zbudowany został z betonu izolacyjnego BI 13/1,3. W dolnej części montowano 2 rury - rurę pokrytą osadem i czystą, co pozwalało na porównanie intensywności wymiany ciepła w stanie zanieczyszczonym i czystym. Do rur doprowadzane było powietrze chłodzące, którego ilość mierzono rotametrami, podczas gdy do pomiaru temperatur powietrze służyły termometry oporowe. Jednocześnie w kilku punktach mierzono temperatury spalin w kanale oraz temperatury ścian kanału. Kanał zaprojektowano tak, aby prędkość przepływu spalin sięgała 10 m/s, zaś udziały ciepła przejętego na drodze promieniowania i konwekcji przez elementy pomiarowe zmieniały się w podobnych granicach jak w rzeczywistym pęczku kotłowym.

3. ZASADY PRZEPROWADZANIA POMIARÓW

Elementy pomiarowe stanowiły fragmenty rur wyciętych z kotłowych pęczków przegrzewaczy i festonów elektrowni Łagisza, Siersza i Rybnik. Długość odcinka czynnego wynosiła 0,23 m. Mierzono następujące wielkości:

- temperaturę powietrza na wlocie do rury zanieczyszczonej t_{nz1},
- temperature powietrza na wlocie do rury czystej t_{pc1},
- temperature powietrza na wylocie z rury zanieczyszczonej t
- temperaturę powietrza na wylocie z rury czystej t_{po2},
- natężenie przepływu powietrza w rurze czystej V rotametr,
- natężenie przepływu powietrzą w rurze zanieczyszczonej V_{pz} rotametr,
- natężenie przepływu spalin V_s kryza,
- temperatury ścianki kanału t_{ść1}, t_{ść2}, t_{ść3},
- temperaturę spalin przed rurami pomiarowymi t_{s1},
- temperaturę spalin za rurami pomiarowymi t_{s2},
- skład spalin $\begin{bmatrix} CO_2 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} CO \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} O_2 \end{bmatrix}$.

W celu wyznaczenia udziału ciepła przekazywanego na drodze promieniowania do całego ciepła przejętego przez rury prowadzono pomiar przy odciętym kanale spalin, na skutek czego prędkość spalin w kanale pomiarowym spadła do zera. Próbki osadów pobrane z rur przekazano do Instytutu Techniki Cieplnej Politechniki Warszewskiej celem określenia ich przewodności cieplnej oraz do "Energopomiaru" w Gliwicach do zbadania składu chemicznego.

4. OPIS ELEMENTÓW POMIAROWYCH

Przedmiotem badań były rury wycięte z kotłów elektrowni Łagisza, Siersza i Rybnik. Zbadano dwie rury z kotła OP 650 El. Rybnik - rurę R1 z V stopnia przegrzewacza pary świeżej i R2 z I stopnia przegrzewacza międzystopniowego. Rurę z III stopnia przegrzewacza pary świeżej elektrowni Siersza oznaczono w dalszej części pracy jako S1. Zaś rurę z III stopnia przegrzewacza pary świeżej oznaczono jako Ł1. Poniżej w tablicy 1 zestawiono charakterystyczne dane badanych rur.

Tablica 1

	R1	R2	S1	匙 1
Temp. spalin omywających rurę	900°C	700 ⁰ C	900°C	900°C
Temp. pary	530°C	350°C	530°C	540°C
Średnica zewn.	32 mm	44,5 mm	42,5 mm	32 mm
Skład chemiczny osadu				
Ti02	1,0	1,93	0,42	0,44
Si02	20,03	50,5	14,4	17,8
A1203	9,93	27,0	8,5	8,8
Pe203	50,1	8,5	69,0	60,7
MgO	2,5	2,0	1,18	2,0
CaO	5,9	2,0	2,34	4,6
Na ₂ 0	0,68	0,78	0,05	0,26
к ₂ 0	1,5	3,25	0,5	0,73
so3	4,3	3,0	3,78	4,4
Przew. cieplna	0,96	0,9	1,22	0,923
W/mK	- 1 - 1 - 1			

Przekroje rur pokrytych osadem, które były przedmiotem badań przedstawiono na rys. 2-5.

Rura R1



Rys. 2. Rura R1 - przekrój Fig. 2. Tube R1 - section



Rys. 4. Rura S1 - przekrój Fig. 4. Tube S1 - section



Rura R2



Rys. 3. Rura R2 - przekrój Fig. 3. Tube R2 - section

Rura L1



Rys. 5. Rura L1 - przekrój Fig. 5. Tube L1 - section

5. WYNIKI POMIAROW

Kompletne zestawienie wyników pomiarów przedstawiono w pracy [9]. Miarą wpływu osadu na wymianę ciepła może być albo współczynnik efektywności cieplnej będący stosunkiem współczynników przenikania ciepła w stanie zanieczyszczonym i czystym:

$$\Psi = k_z/k_c$$
,

albo współczynnik zanieczyszczenia stanowiący różnicę odwrotności współczynników przenikania ciepła:

$$\mathcal{E} = 1/k_{z} = 1/k_{c}$$

W celu sprawdzenia dokładności metody przeprowadzono najpierw badenia dla dwu czystych rur uzyskując wartości współczynnika Ψ zbliżone do jedności oraz współczynniki zanieczyszczenia niewiele różniące się od zera. Wartość średnia $\overline{\Psi}$ z 21 pomiarów wyniosła 0,988, zaś maksymalne odchy lenie od średniej 0,032, tzn. 3,6% $\overline{\Psi}$. Dokładność taką można uznać za wystarczającą z punktu widzenia zastosowań technicznych. Ponieważ pozostałe pomiary prowadzono w ten sam sposób i w tych samych zakresach zmienności mierzonych wielkości, można sądzić, że błąd wyzneczenia współczynników zanieczyszczenia i współczynników efektywności cieplnej jest równie mały i dla rur z osadem. Poniżej omówiono wyniki uzyskane z pomiaru dla poszczególnych rur.

Rura R1

Średnia wartość współczynnika efektywności cieplnej Ψ wyniosła 0,927, zaś maksymalne odchylenie pojedynczego pomiaru od średniej $\Delta \Psi_{max} = 0,022$, tzn. 2,4% $\overline{\Psi}$. Odpowiednia wartość średnia współczynnika zanieczyszczenia $\overline{\delta} = 0,00245 \text{ m}^2 \text{ K/W}$. Według [2] dla tej samej prędkości i temperatury spalin oraz średnicy i podziałki wzdłużnej rur wartość δ powinna wynosić 0,01 m² K/W. Ponieważ osad na rurze jest silnie spieczony i twardy, można przypuszczać, że nie uległ uszkodzeniu w trakcie wycinania rury z kotła. Kilkakrotna różnica między wartością δ z pomiaru i wg norm radzieckich świadczy więc o znacznych różnicach między osadami w krajowych i radzieckich kotłach.

Rura R2

Średnia wartość współczynnika efektywności cieplnej wynosiła w tym przypadku $\bar{\Psi} = 0,919$, zaś maksymalne odchylenie $\Delta \Psi_{max} = 0,031$, tzn. 3,4%. Odpowiednia wartość średnia $\bar{\delta} = 0,00279 \text{ m}^2$ K/W jest znacznie mniejsza od zalecanej w [2] i wynoszącej 0,014 m² K/W. Tak duża różnica spowodowana została usunięciem pierwotnej warstwy osadu sypkiego podczas wycinania rury z kotła. Rura R2 jest prawie zupełnie pozbawiona osadu popiołowego, natomiast jej powierzchnię pokrywa gruba, ok. 2 milimetrowa warstwa produktów korozji. Wynika stąd wniosek, że nie tylko osady popiołu, ale również zjawiska korozyjne przyczyniają się do pogorszenia wymiany ciepła w kotłowych pędzkach konwekcyjnych, które może sięgać 5 - 10%.

Rura S1

Średnia wartość współczynnika efektywności cieplnej wynosi w tym przypadku $\bar{\Psi} = 0,916$, $zaś \Delta \Psi_{max} = 0,046$, co stanowi 5% wartości $\bar{\Psi}$. Odpowiednia średnia wartość współczynnika zanieczyszczenia $\bar{c} = 0,0032 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ jest znacznie mniejsza od wartości ć według [2] wynoszącej 0,014 m² K/W. Osad na rurze posiada jednak znaczne ubytki, z czego można wnioskować, że jego pierwotna postać była inna, a opór cieplny osadu większy.

176

Badania przepływu ciepła

Rura 11

Średnia wartość współczynnika efektywności cieplnej wynosi 0,745, zaś maksymalne odchylenie pojedynczego pomiaru od wartości średniej wynosi $\Delta \Psi_{max} = 0,023$, tzn. 3,1% Ψ . Odpowiednia wartość średnia współczynnika zanieczyszczenia $\bar{c} = 0,00969 \text{ m}^2$ K/W. Według [2] wartość współczynnika zanieczyszczenia, przy tych samych parametrach, wynosi 0,01 m² K/W - różnica jest więc niewielka, w granicach błędu pomiaru. Trzeba jednak stwierdzić, że zestalone osady na rurach przegrzewacza kotłów OP 380 elektrowni Łegisza osiągają większe rozmiary niż w tych samych kotłach innych elektrowni.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wysunąć można następujące wnioski:

- opracowana metoda pomiarowa zapewnia dokładność wyznaczania oporu cieplnego osadów popiołu wystarczającą dla praktyki projektowej;
- warunkiem uzyskania prawidłowych wyników jest wydobycie rury z kotła
 i zamontowanie w stanowisku badawczym bez uszkodzenia osadu, co nie
 zawsze jest możliwe;
- opracowany sposób pomiaru wartości V i E nadaje się do wykorzystania przy weryfikacji modeli matematycznych wymiany ciepła w pęczkach konwekcyjnych pokrytych osadem popiołu,
- pogorszenie wymiany ciepła w kotłowych pęczkach konwekcyjnych spowodowane być może zarówno przez osady popiołu, jak i przez warstwę produktów korozji pokrywających rurę.

LITERATURA

- [1] Kuznecow N.W.: Raboczije processy i woprosy usowerszenstwowanija konwektiwnych powierchnostiej kotielnych agregatow. Gosenergoizdat. Moskwa - Leningrad 1958.
- [2] Tepłowoj rasczot kotielnych agregatow normatiwnyj mietod. Energia, Moskwa 1973.
- [3] Gaiński J., Pronobis M.: Badania i wybór czynników mających wpływ na proces zanieczyszczania powierzchni ogrzewanych. Opracowania Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śl. w Gliwicach, CPBP 02.18, zad. 2.2.5.1.
- [4] Gaiński J., Pronobis M.: Badania zanieczyszczeń kotłowych powierzchni konwekcyjnych. Energetyka - w druku.
- [5] Gaiński J., Pronobis M.: Badania na stanowisku doświadczalnym IMiUE Politechniki Sl. współczynników zanieczyszczenia i współczynników cieplnej efektywności powierzchni konwekcyjnych przy spalaniu wytypowanych krajowych węgli kamiennych. Opracowanie Politechniki Sl. w Gliwicach w ramach PR-8, zadanie 6.4.5.01. etap c2.

- [6] Furmański P., Gogół W., Kołtyś J.: Analiza możliwości pomiaru przewodności cieplnej zanieczyszczeń powierzchni rur kotłowych. Opracowanie Politechniki Warszawskiej, PR-8, zadanie 6.4.5.01 etap c4.
- [7] Furmański P., Kołtyś J.: Weryfikacja doświadczalna metody pomiaru przewodności cieplnej zanieczyszczeń zewnętrznych powierzchni rur kotłowych. Opracowanie ITC Politechniki Warszawskiej, PR-8, Zadania 6.4.5.01. etap d3.
- [8] Furmański P., Kołtyś J.: Weryfikacja i modyfikacja metody pomiaru przewodności cieplnej osadów kotłowych. Opracowanie ITC Politechniki Warszawskiej, CFBP, 1987.
- [9] Gaiński J., Pronobis M.: Badania doświadczalne przepływu ciepła w rzeczywistych osadach popiołowych. Opracowanie Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Sl. w ramach CPBP 02.18 zadanie 2.2.5.2.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТОКА ТЕПЛА В РЕАЛЬНЫХ ОСАЖДЕНИЯХ ПЕПЛА

Резюме

В работе описан метод и даны результы исследований теплового сопротивления осаждений пепла, выступающих на вырезанных из котлов трубах пароперегревателя и фестонов испарителя. Коэффициенты тепловой эфрективности получены путем измерения интенсивности прохода тепла одновременно для чистой и загрязненной трубы. Показано, что ухудшение обмена тепла идет не только за счет осаждения пепла, ио также из-за слоя ржавчины на поверхности трубы.

INVESTIGATIONS OF HEAT TRANSFER IN REAL ASH DEPOSITS

Summery

The method and results of the investigations of thermal resistance of the ash deposits occurring in the tubes of steam superheaters and steamer festoons cut out from boilers have been described in the paper. Thermal efficiency coefficients have been determined by measuring the intensity of heat transfer for clean and contaminated tube at the same time.

It has been found that deterioration of the heat exchange has been caused not only by the ash deposit but also by the presence of the corrosion products layer.

178