ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: ENERGETYKA z. 113 Nr kol. 1101

Jan ŚWIRSKI
Roman ZARĘBA

Instytut Energetyki
Zakład Procesów Cieplnych

ZWIĘKSZENIE ODPORNOŚCI RUR KOTŁOWYCH NA EROZJĘ POPIOŁOWĄ METODĄ NAPYLANIA PLAZMOWEGO

Streszczenie. Przedstawiono możliwość zwiększenia odporności na erozję popiołową rur powierzchni ogrzewalnych poprzez napylenie powłok ochronnych. Podano wyniki badań laboratoryjnych odporności na erozję powłok z różnych materiałów oraz wyniki eksploatacyjne z przeprowadzonych badań w jednej z eletrociepłowni warszawskich.

1. WSTĘP

Zagadnienie zwiększenia odporności na erozję popiołową rur powierzchni ogrzewalnych, a w tym podgrzewaczy wody kotłów jest problemem bardzo istotnym dla energetyki zawodowej. Stosowane w niektórych elektrowniach zabezpieczenia rur przy pomocy nakładek wykonanych z materiałów trudno ścieralnych nie daje zadowalających rezultatów ze względu na trudności w dokładnym dopasowaniu kształtu nakładki do kształtu powierzchni rury narażonej na erozję. Erozja występuje bowiem najintensywniej na kolanach ruru przy ścianach kanałów spalinowych.

Innym sposobem zwiększenia odporności na erozję jest stosowanie powłok ochronnych. Stąd też Instytut Energetyki wspólnie z Instytutem Mechaniki Precyzyjnej i Zakładem Remontowym Energetyki w Warszawie zajął się zagadnieniem zwiększenia odporności na erozję popiołową poprzez napylenie powłok ochronnych.

W referacie przedstawiono wyniki badań odporności na erozję powłok z różnych materiałów, dokonano wyboru pokryć do prób eksploatacyjnych oraz ich rezultaty.

2. METODA BADAŃ ODPORNOŚCI NA EROZJĘ NA STANOWISKU LABORATORYJNYM

Sprawdzenie odporności na erozję powłok ochronnych powinno odbywać się w warunkach zbliżonych do rzeczywistych warunków pracy rur w kotłach.

Proces erozji popiołowej rur podgrzewaczy wody w kotłach energetycznych przebiega najczęściej przy temperaturach ścianek rur 250÷300°C i przy średniej prędkości przepływu gazów spalinowych 7÷12 m/s. Lokalne prędkości gazów spalinowych, zwłaszcza przy ścianach kanału spalinowego, mogą być znacznie wyższe i wówczas zużycie erozyjne ścianek rur jest bardzo duże. Szybkość zużycia erozyjnego rur zależy głównie od prędkości przepływu spalin i koncentracji cząstek popiołu wg zależności

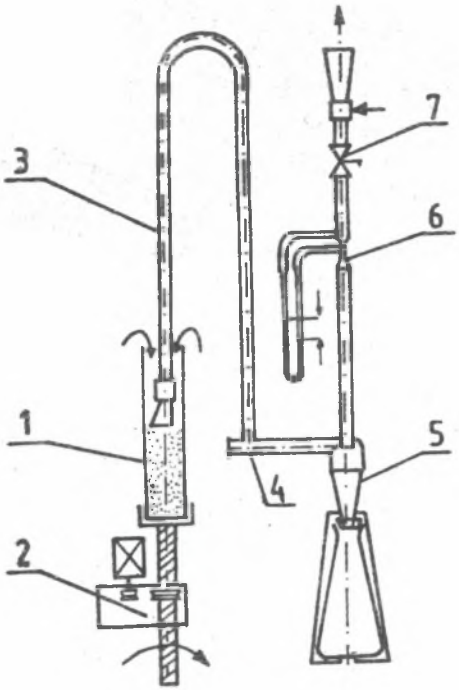
$$e = A\left(w^3 \cdot c\right),$$

gdzie: A - współczynnik ujmujący wpływ pozostałych parametrów.
Główną rolę w procesie erozji odgrywa uderzenie cząstek popiołu o powierzchnię rur. Uderzeniu może towarzyszyć powstawanie odkształceń sprężystych i plastycznych metalu i w zależności od kąta padania i kształtu cząstek popiołu ubytek metalu. Z praktyki eksploatacyjnej i licznych badań tego zjawiska wynika, że największy ubytek materiału występuje przy kącie padania cząstek zbliżonym do 45°.

W Instytucie Energetyki zamodelowano ten proces na specjalnym stoisku laboratoryjnym [1] . Przyjęto przy tym zasadę przyspieszenia procesu zużycia przez podwyższenie parametrów /prędkości i koncentracji/ z zachowaniem mechanizmu oddziaływania cząstek na powierzchnie metalu.

Stoisko składa się z zasobnika popiołu 1, mechanizmu napędowego 2, przewodu mieszaniny pyłowo-powietrznej 3, płytki badanej 4, cyklonu odpylającego 5, zwężki pomiarowej 6 oraz eżektora z zaworem regulacyjnym 7. Popiół z zasobnika 1 porywany jest przez powietrze zasysane z otoczenia do przewodu 3. Wydajność podajnika (koncentracja cząstek popiołu w powietrzu nośnym) może być regulowana przez zmianę szybkości przesuwu zasobnika 2. Strumień cząstek popiołu skierowany jest na badaną płytkę 4 o wymiarach 21x16 mm ustawioną pod kątem 45° do kierunku napływu strumienia i dalej do cyklonu odpylającego 5. Pomiar natężenia przepływu powietrza odbywa się przy użyciu zwężki typu Venturi. Przekrój przewodu, z którego wypływa strumień mieszaniny pyłowo-powietrznej na badaną płytkę oraz przekrój kanału przed cyklonem dobrano tak, aby przy założonych parametrach stoiska wszystkie cząstki popiołu uderzały o próbkę. Ślad na powierzchni próbki poddanej erozji ma wówczas kształt regularnej elipsy, a jej wymiary są zgodne z wielkością rzutu otworu wylotowego przewodu 3. Średnią odporność na erozję można wyznaczyć z ubytku wagi próbki.
Obliczeniowe parametry pracy stoiska są następujące:

- prędkość mieszaniny pyłowo-powietrznej 35 m/s
- koncentracja cząstek popiołu w powietrzu nośnym 100 g/m^3
- temperatura mieszaniny 20°C
- kąt napływu strumienia 45°



Stoisko laboratoryjne
Laboratory test stand

3. WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH ROZMAITYCH POWŁOK NAKŁADANYCH METODĄ NATRYSKIWANIA

W związku z brakiem danych literaturowych, które wskazywałyby na możliwość wykorzystania konkretnych materiałów powłokowych, przyjęto następujący tok postępowania. Wytypowano kilkanaście materiałów stosowanych do wytwarzania powłok metodą natryskiwania, które ze względu na swoje własności (twardość, odporność na ścieranie i erozję) stwarzały możliwość wzrostu trwałości zabezpieczanych elementów. Z materiałów tych wykonano powłoki na próbkach ze stali K18.

Powierzchnie próbek przed natryskiwaniem oczyszczono za pomocą obróbki strumieniowo-ściernej. Jako materiał ścierny stosowano elektrokorund zwykły o ziarnie numer 16.

Testowanie zastosowanych materiałów i sposobów wytwarzania powłok przedstawiono w tablicy 1 [2] .

Tablica 1 Zestawienie dobranych materiałów powłokowych i wyniki badań

Lp.	Materiał powłoki	Metoda natryskiwania		HV 0.1	Średni ubytek wagi mg/kg	Względny wskaźnik odporności na erozję w stosunku do stali K18
1.	Al_2O_3	plazmowa	a/	1230	2,1	5,0
2.	Al_2O_3 + 13%TiO_2	"	a/	1119	3,2	3,3
3.	PMNi55	"	a/	697	7,4	1,4
4.	W_2C + Co	"	a/	1004	3,5	3,0
5.	PMNi35	"	a/	306	13,2	0,8
6.	Al_2O_3 + 3%TiO_2 + 40%NiCr	"	a/	626	4,3	2,5
7.	Cr_2O_3	"	a/	1426	1,4	7,5
8.	stal N12E	płomieniowa	b/	585	0,9	1,1
9.	stal ŁH15	"	b/	547	11,4	0,9
10.	Al	"	b/	44	9,4	1,13
11.	PMNi30	płomieniowa z przetapianiem	c/	339	6,6	1,6
12.	PMNi54	"	c/	594	4,8	2,2
13.	Ni-Al	łukowa	d/	519	10,7	1,0
14.	kanthal	"	d/	239	11,6	0,9
15.	stal 1H18N9T	płomieniowa	b/	272	12,4	0,8
16.	stal 4H13	"	b/	578	10,0	1,06
17.	Mo	"	b/	359	10,7	1,0
18.	Ni-Al	"	b/	341	8,1	1,3
19.	kanthal	"	b/	192	15,4	0,68
20.	stal 1H18N9T	łukowa	d/	319	13,7	0,77

W tablicy podano także wyniki pomiarów mikrotwardości. Mikrotwardość mierzono sposobem Vickersa przy obciążeniu 100 G wg BN - 75/1076-03. Wynik stanowi wartość średnią z pięciu pomiarów.

Powłoki natryskiwano przy zastosowaniu:
a/ zestawu plazmowego Plancer PN-120,
b/ pistoletu płomieniowego na drut Metal 63-A,
c/ pistoletu płomieniowego proszkowego PN-121-A,
d/ głowicy łukowej BMG-76.

Wytypowane materiały powłokowe były produkcji krajowej (z wyjątkiem kanthalu produkcji szwedzkiej firmy Bulten Kanthal AB) . Do natryskiwania zastosowano urządzenia produkcji krajowej. Przeprowadzone badania metalograficzne napylonych powłok wykazały dobrą przyczepność do podłoża oraz prawidłową strukturę warstw. Przeprowadzone badania odporności na erozję na stanowisku laboratoryjnym wykazały bezpośrednią zależność pomiędzy odpornością powłoki na erozję a jej mikrotwardością.

Wyniki badań przedstawiono w postaci wskaźnika względnej odporności na erozję powłok w stosunku do stali kotłowej K18 stosowanej na rury podgrzewaczy wody. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że najlepsze efekty zabezpieczenia przed erozją dają warstwy napylone Cr_2O_3 i AL_2O_3.

W celu sprawdzenia zachowania się wybranych powłok w warunkach eksploatacyjnych napylono plazmowo w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej w oparciu o opracowaną technologię [3] 20 szt. kolan wężownic podgrzewaczy wody, które zamontowano na kotle OP-230.

4. SPRAWDZENIE ODPORNOŚCI POWŁOK NA EROZJĘ W WARUNKACH EKSPLOATACYJNYCH

W czasie remontu kapitalnego kotła OP-230 wspawano do podgrzewacza wody pierwszego stopnia 20 szt. kolan natryskiwanych plazmowo. Dziesięć sztuk kolan natryskiwano tlenkiem aluminium Al_2O_3, dwie sztuki czystym aluminium Al i osiem sztuk tlenkiem chromu Cr_2O_3. Przed wspawaniem kolana poddano pomiarom średnic. Po półrocznej eksploatacji ponownie zmierzono średnice kolan i stwierdzono, że najlepsze rezultaty uzyskano na kolanach napylonych warstwą Cr_2O_3 i Al.

Biorąc pod uwagę uśrednione wartości zmierzonych ubytków średnic kolan, stwierdzono, że dla warstw Al_2O_3 średnica zmniejszyła się 0,35 mm, dla warstw Al 0,15 mm, a dla warstw Cr_2O_3 o 0,26 mm. Średnica kolan nie napylonych zmniejszyła się o 0,40 mm.

Uzyskane wyniki z badań eksploatacyjnych różnią się znacznie od wyników laboratoryjnych, co może być spowodowane niedokładnością pomiarów (trudny dostęp), jak i różnym miejscem usytuowania napylanych kolan w podgrzewaczu wody. W celu uzyskania pełnych wyników odporności powłok na erozję w warunkach eksploatacyjnych zaproponowano napylenie wszystkich kolan podgrzewacza wody warstwami Cr_2O_3 i Al.

5. PODSUMOWANIE

1. Na podstawie uzyskanych rezultatów badań można stwierdzić, że możliwe jest zwiększenie trwałości elementów rur powierzchni ogrzewalnych kotłów poprzez zastosowanie powłok ochronnych natryskiwanych plazmowo.
2. Przeprowadzone badania metalograficzne oraz eksploatacyjne powłok ochronnych wykazały dobrą przyczepność do podłoża.
3. Dla powłok ochronnych Cr_2O_3, Al_2O_3 i Al opracowano technologię napylania tych powłok na kolana rur podgrzewaczy wody.
4. Wprowadzenie na szeroką skalę proponowanej metody zabezpieczania rur przed erozją popiołową konieczne jest przeprowadzenie szerszych badań eksploatacyjnych dla wybrania odpowiedniego materiału na powłoki ochronne.

LITERATURA

[1] Świrski J.: Badania erozji popiołowej i ocena zużycia erozyjnego rur kotłowych wskutek jej działania. Praca Instytutu Energetyki - Zeszyt 1, 1975.

[2] Świrski J., Śliwkowa Z., Zaręba R.: Dobór materiałów oraz wykonanie badań odporności na erozję powłok napylonych strumieniem plazmy. Opracowanie IEn, Warszawa, 1987.

[3] Sartowski M.: Dobór powłok odpornych na erozję oraz opracowanie technologii nanoszenia tych powłok na powierzchnie zewnętrzne rur podgrzewaczy wody. Opracowanie El-Me-CHEM, Warszawa 1987.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Gerard KOSMAN

УВЕЛИЧЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНЫХ ТРУБ ЗОЛОВОМУ ИЗНОСУ ПУТЕМ НАПЫЛЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ПЛАЗМЫ

Р е з ю м е

Представлены возможности увеличения сопротивления золовому износу труб поверхностей нагрева путём напыления защитных оболочек. Указаны результаты лабораторных исследований сопротивления золовому износу защитных оболочек из разных материалов а также результаты эксплуатационных испытаний в одной из варшавских ТЭЦ.

INCREASEMENT OF BILER TUBES ASH EROSION RESISTANCE BY MEANS OF PLASMA SPRAYING

S u m m a r y

A possibility of higher ash erosion resistance for heating surface tubes, by means of sprayed protective coating application, has been desevibed. Results have been presented, concerning laboratory trests of erosion resistance for various coatings and field tests, performed in a power and heat generating plant in Warsaw.