Seria: ENERGETYKA z. 125

Nr kol 1280

Ryszard WILK, Andrzej SZLĘK, Zygmunt ZIELIŃSKI Intytut Techniki Cieplnej, Politechnika Śląska

OGRANICZENIE EMISJI TLENKU AZOTU I WIELOPIERŚCIENIOWYCH WEGLOWODORÓW AROMATYCZNYCH PODCZAS SPALANIA OLEJU

Streszczenie. Przedstawiono badania nad zmniejszeniem emisji NO_x i WWA powstających podczas spalania oleju opałowego. Przy dwufrakcyjnym rozpylaniu większe krople generują redukcyjne składniki poza strefą głównego spalania, które obnizają koncetrację NO_x o 20 ÷ 40%. Zmniejszenie koncentracji WWA uzyskano przez optymalizację ilości powietrza spalania ($\lambda = 1,3 \div 1,4$), minimalizację czasu pobytu w strefie reakcji oraz ograniczenie zawartości węglowodorów aromatycznych w oleju (< 22%). Wpływ dodatków (Si, Cr, V) na emisję WWA był niejednoznaczny.

THE ABATEMENT OF THE NOx AND PAH EMISSION DURING OIL COMBUSTION

Summary. The investigations of the abatement of the NO_x and PAH emission were carried out in the course of oil combustion. Due to the bi-fractional atomization of oil the large droplets have created the reducing agents beyond the main combustion zone. It caused the NO_x decrease by 20 ÷ 40%. The abatement of PAH concentration has been made by the optimisation of amount of combustion air ($\lambda = 1, 3 \div 1, 4$), reduction of residance time and of content of aromatic hydrocarbons in oil (< 22%). The influence of additives (Si, Cr, V) on the PAH emission occured to be unexplicid.

BEGRENZUNG DER EMISSION VON STICKSTOFFOXID UND AROMATISCHEN MEHRZYKLISCHEN KOHLEWASSERSTOFFEN WÄHREND DER ÖL-VERBRENNUNG

Zusammenfassung. Die Ergebnisse von Forschungsarbeiten auf dem Gebiet einer Emissionsverminderung der enstandenen NO_x und MKW whrend der öl-Verbrennung wurden dargestellt. In der zwei-Fraktionen öl-Zerstäubung grössere Tropfen werden reduktive Be-

1995

standteile hinter der Zone der Hauptverbrennung erzeugt, die eine NO_x – Konzentration um 20 ÷ 40% vermindern werden können. Eine Minderung von MKW wurde durch eine Optimierung der Verbrennungsluftmenge ($\lambda = 1,3 + 1,4$), bei Minimalisierung einer Verweilzeit in der Reaktionszone und die Begrenzung von Kohlewasserstoffen im öl (< 22%) erreicht. Der Einfluß von Zusatzstoffen (Si, Cr, V) auf die Emission von MKW war uneindeutig.

1. WSTĘP

Spalanie paliw jest główną przyczyną zanieczyszczenia atmosfery. W trakcie tego procesu może powstawać ok. 70 rodzajów szkodliwych substancji. W wyrażeniu ilościowym procesy spalania emitują ok. 70% całkowitej ilości NO, i SO2, ok. 60% ilości CO i ok. 55% ilości pyłów [4]. Obecność szkodliwych substancji w spalinach spowodowana jest różnorodnymi przyczynami. Takie substancje jak dwutlenek wegla, dwutlenek siarki, paliwowe tlenki azotu, pary metali cieżkich, tlenki metali, dioksyny, furany, lotny popiół i żużel wynikaja z faktu, że źródłowe dla nich pierwiastki sa konstutywnymi składnikami paliwa, które w trakcie utleniania przekształcają się w ww. szkodliwe zwiazki. Tlenek wegla, sadza, koksik i wszystkie rodzaje weglowodorów są efektem procesów niezupełnego i niecałkowitego spalania. Natomiast termiczny tlenek azotu powstaje w wysokich temperaturach (1650 K) płomienia wskutek utleniania azotu powietrznego [2]. Istnieją również szkodliwe substancje, które są rezultatem chemicznych lub fotochemicznych reakcji przebiegających w atmosferze pomiędzy pierwotnymi substancjami szkodliwymi. Są to tzw. wtórne szkodliwe substancje i należa do nich dwutlenek azotu. którego ilość w pierwotnej emisji jest bardzo mała, ozon i nadtlenek azotowoacytylenowy (PAN). Dwutlenek węgla, trójtlenek siarki i tlenek węgla należą zarówno do pierwotnych, jak i wtórnych szkodliwych substancji [2].

Tlenki azotu i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) są jednymi z najbardziej szkodliwych zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery z procesów spalania. Np. benzo(a)piren (BaP, $C_{20}H_{12}$), który jest jednym z najważniejszych WWA, charakteryzuje się bardzo dużym współczynnikiem toksyczności wynoszącym 6253 [1]. Koncentracja WWA (BaP) w typowych spalinach ze spalania paliw organicznych jest na ogół mała w porównaniu z koncetracją NO_x, która jest o 2 – 3 rzędy większa. Miarą szkodliwości danej substancji powinien być jednak iloczyn koncentracji i współczynnika toksyczności i wg tego kryterium szkodliwości NO_x i WWA są tego samego, wysokiego rzędu.

W wyniku szeregu prac badawczych opracowano wiele technologii zmniejszania koncentracji NO_x w spalinach, które umownie można podzielić na pierwotne i wtórne metody redukcji emisji NO_x . Metody pierwotne polegają na bezpośrednim oddziaływaniu na proces spalania w obrębie komory spalania. Wszystkie te działania można pogrupować w pięć obszarów, których efekty redukcyjne są przedstawione w tablicy 1 [4]. Metody pierwotne są dosyć często stosowane ze względu na korzystny stosunek stopnia redukcji do kosztów redukcji. Natomiast ich podstawową wadą jest konieczność stosowania skomplikowanego systemu kontroli i sterowania procesem spalania oraz prawdopodobieństwo zwiększonej emisji CO, sadzy i węglowodorów, w tym WWA. Metody wtórne polegają głównie na katalitycznym (SCR) lub niekatalitycznym (SNCR) oddziaływaniu na spaliny poza komorą paleniskową. Są to raczej drogie metody i w związku z tym rzadko stosowane [4].

Tablica 1

Sposób	Efekt redukcji, % Paliwo		
	Recyrkulacja spalin	20-70	20-60/10-35
Palniki niskoemisyjne	20-40	20-40/10-30	10-60/80*
Stopniowanie powietrza	10-30	10-40/10-40	10-50
Zmniejszenie temperatury spalania	10-60	10-60/10-30	—
Użycie gazu redukcyjnego	30-50	30-50/30-50	30-50

Sposoby redukcji koncentracji NOx oraz efekty redukcji.* odpowiada palnikowi Hitachi Nr 3, bez systemu OFA

Mechanizmy powstawania WWA oraz metody zmniejszania ich koncentracji w spalinach są dotychczas słabo rozpoznane. Dotyczy to zarówno metodyki badań eksperymentalnych, jak i teoretycznego modelowania. Np. główne problemy pomiarowe wynikają z potrzeby opracowania wiarygodnej techniki poboru reprezentatywnej próbki gazów płomieniowych. Z drugiej strony podstawowym teoretycznym zadaniem jest opracowanie fizykalnego modelu powstawania i utleniania WWA w trakcie spalania. Obecnie najczęściej przyjmuje się hipotezę, że formowanie BaP, a następnie sadzy, jest kontrolowane przez lokalną koncentrację C_2H_2 w płomieniu [3]. Inny punkt widzenia przyjmuje, że emisja WWA jest rezultatem łączenia lub przekształcania się węglowodorów paliwowych (w tym aromatycznych) albo efektem niezupełnego i niecałkowitego utleniania przy częściowej obecności tlenu [11]. Tymczasem wiedza o mechanizmach tworzenia WWA jest niezbędna dla opracowania skutecznej metody redukcji emisji WWA.

Lekki olej opałowy niskosiarkowy odgrywa coraz poważniejszą rolę jako paliwo dla małych i średnich kotłowni. Dlatego podjęto badania nad ekologicznymi aspektami spalania tego typu paliwa. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki teoretyczno-eksperymentalnych badań nad zmniejszaniem emisji NO i WWA przy spalaniu tego oleju.

2. BADANIA NAD ZMNIEJSZENIEM EMISJI TLENKU AZOTU

Istotą prezentowanej metody jest takie rozpylanie oleju, aby struga kropel składała się z dużej liczby małych kropel oraz z niewielkiej liczby dużych kropel [6, 9]. Małe krople skupiają zasadniczą część substancji oleju, a zatem ich czas spalania decyduje o długości podstawowej strefy spalania. Za tą strefą, gdzie wskutek odpływu ciepła temperatura płomienia jest niższa, wolniej parujące większe krople wytwarzają redukcyjne składniki umożliwiające przekształcanie NO w cząsteczkowy azot N_2 . Aby udowodnić powyższą tezę, przeprowadzono eksperymentalno-teoretyczne badania.

2.1. Teoretyczny model

Porównuje się dwa przypadki: "1", gdzie rozpylanie oleju jest monofrakcyjne, a wszystkie krople mają średnicę d = 20 μ m oraz "2", gdzie rozpylanie oleju jest dwufrakcyjne, tzn. 90% substancji kropel ma średnicę d₉₀ = 20 μ m, a 10% substancji kropel ma średnicę d₁₀ = 50 μ m. Założenia modelu są następujące [5, 10]:

- 1. Ze względu na dużą turbulencję (Re = 25000 30000) prędkości fazy gazowej i kropel są równe.
- 2. Szybkość spalania kropel jest opisana równaniem parowania:

$$d = \sqrt{d_0^2 - k\tau}$$

- 3. Pary oleju przed zapłonem podlegają termicznemu rozkładowi, w wyniku którego pali się mieszanina CH₄, C₂H₂ i HCN.
- 4. Dany jest rozkład temperatury i prędkość wzdłuż płomienia jak na rys. 1.
- Przepływ gazów w reaktorze jest jednowymiarowy, osiowo-symetryczny. Rozważono 256 reakcji chemicznych i dla każdego rodnika lub chemicznego

składnika można napisać następujące równanie [5]:

$$\frac{\partial C_{i}}{\partial \tau} = \sum_{r=1}^{256} \left(A_{rf} T^{B_{rf}} \exp\left[\frac{-E_{rf}}{R_{\upsilon}T}\right]^{numl(r)} \cdot \prod_{k=1}^{numl(r)} C_{k} - A_{rb} T^{B_{rb}} \exp\left[\frac{-E_{rb}}{R_{\upsilon}T}\right]^{numr(r)} \prod_{k=1}^{numr(r)} C_{k} \right) \Delta v_{ir}$$

Warunki brzegowe są następujące:

 $C_{O_2} = 0,21p_0/R_uT$; $C_{N_2} = 0,79p_0/R_uT$; $C_{i, i\neq O_2, i\neq N_2} = 0$; $k = 1,65 \text{ mm}^2/\text{s}$; n = 0,5%. Wyniki obliczeń koncentracji NO wzdłuż płomienia przedstawiono na rys. 2 dla ww. dwóch przypadków rozpylania. Linią ciągłą oznaczono przypadek "1" (monofrakcja), linią przerywaną oznaczono przypadek "2" (rozpylanie dwufrakcyjne). Analiza tych wyników wskazuje na następujące prawidłowości:

1. Zasadnicza część NO w obydwu przypadkach rozpylania powstaje w płomieniu w tej samej odległości od palnika.



Rys. 1. Rozkład temperatury i prędkości wzdłuż płomienia, $\lambda = 1,2$, a = 0, Q = 50 kW Fig. 1. Temperature and velocity along the flame, $\lambda = 1.3$, a = 0, Q = 50 kW

2. W przypadku dwufrakcyjnego rozpylania ma miejsce zmniejszenie się koncentracji NO przy końcu płomienia. Ten spadek występuje w obszarze spalania dużych kropel, gdzie obecne są składniki redukcyjne (CO, CH_i i inne), które wiążą tlen z NO powodując spadek koncentracji tlenku azotu, a wzrost koncentracji azotu cząsteczkowego.

2.2. Eksperymentalna weryfikacja modelu

Eksperymentalną weryfikację zaprezentowanej metody przeprowadzono na stanowisku badawczym, którego schemat jest przedstawiony na rysunku 3. W badaniach zastosowano lekki olej opałowy o składzie jak w tablicy 2, w którym azot paliwowy modelowano za pomocą pirydyny (C_5H_5N). Zastosowano palnik z dyszą rozpylającą Danfoss o wydajności 3 – 4 kg/h. Użyto dwóch rodzajów powietrza. Pierwotne powietrze, sprężone (0,2 MPa), kształtowało mikrostrukturę strugi i jego ilość zmieniała się w granicach a = 0 – 0,8 kg/kg. Strumień tego powietrza nie przekraczał 5% strumienia całkowitego powietrza spalania. Powietrze wtórne, wentylatorowe (2 kPa), doprowadzane było zewnętrznym kanałem pierścieniowym. Wpływ ilości pierwotnego powietrza na rozkład wymiarów kropel przedstawiono na rysunku 4. Ilość powietrza wtórnego nie miała wpływu na mikrostrukturę strugi. Na rys. 4a jest widocz-



Rys. 2. Koncentracja NO wzdłuż płomienia: "1" – rozpylanie monofrakcyjne, "2" – rozpylanie dwufrakcyjne, λ = 1,2, a = 0,25, n = 0,5%, Q = 50 kW, ■ □ pomiary

Fig. 2. NO_x concentration along the flame: "1" – monofractional atomization, "2" – bi-fractional atomization, λ = 1.2, a = 0.25, n = 0.5%, Q = 50 kW, ■ □ measurements

ne, że w zakresie a = 0 – 0,3 kg/kg średnia średnica kropel rośnie, a w następnym zakresie ilości pierwotnego powietrza (a = 0,3 – 0,8) średnica kropel maleje. Wypływająca struga pierwotnego powietrza początkowo (a) blokuje strugę kropel powodując ich koagulację i wzrost średniej średnicy. Przy dalszym wzroście ilości rozpylającego powietrza (a = 0,3 – 0,8) energia kinetyczna strugi pierwotnego powietrza jest na tyle duża, że ujawnia się wpływ wtórnego rozkładu kropel, co powoduje, że średnica kropel maleje. Przy a = 0,8 istnieje wyraźnie widoczny (rys. 4b) dwuwierzchołkowy rozkład wymiarów kropel, co w przybliżeniu odpowiada dwufrakcyjnemu rozpylaniu (teoretyczny przypadek "2"). Bez powietrza rozpylającego (a = 0,0) gęstość rozkładu wymiarów kropel ma jedno maksimum, co odpowiada w przybliżeniu teoretycznemu przypadkowi, "1" tzn. strudze monofrakcyjnej.



Rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – płomień, 2 – komora spalania, 3 – palnik, 4 – zbiornik oleju, 5 – pompa, 6 – sprężarka pierwotnego powietrza, 7 – wentylator wtórnego powietrza, 8 – pobór próbek do analiz

Fig. 3. Scheme of tested stand: 1 – flame, 2 – combustion chamber, 3 – burner, 4 – oil tank, 5 – pump, 6 – primary air compressor, 7 – van air, 8 – NO_x and PAH probe

Wyniki pomiarów emisji NO przedstawiono na rysunkach 2 i 5. Na rysunku 2 obok emisji obliczeniowej NO przedstawiono zmierzoną emisję NO, oznaczoną na rysunku kwadratami, dla przypadku "1" (monofrakcja) oraz dla przypadku "2" (rozpylanie dwuwierzchołkowe). Badania eksperymentalne potwierdzają tezę, że przy dwufrakcyjnym rozpylaniu większe krople zachowują

Właściwości lekkiego oleju opałowego			
Wielkość	Jednostka	Wartość	
Wartość opałowa	MJ/kg	42.2	
Gęstość, 20°C	kg/m ³	862	
Dynamiczny współczynnik lepkości	kg/ms	0,003	
Temperatura zapłonu Marcusona	°C	86	
Temperatura samozapłonu	°C	380	
Prędkość spalania	mm ² /s	1,51	
Analiza pierwiastkowa:			
c h s n o	%	86,44 12,56 0,31 0,00083 0,8017	
Zawartość: węglowodorów nasyconych węglowodorów aromatycznych olefin	%	72,7 26,9 0,4	



Rys. 4. Wpływ ilości pierwotnego powietrza na mikrostrukturę strugi kropel: "a" – średnia średnica kropel, "b" – rozkład masy kropel w funkcji średnicy kropli



Tablica 2

się jak paliwo redukcyjne [5], gdyż emisja NO po osiągnięciu maksimum w zasadniczej strefie spalania maleje wzdłuż płomienia osiągając minimum na końcu płomienia. Z rysunku 5 wynika, że koncentracja NO osiąga minimum przy ilości powietrza pierwotnego odpowiadającej wartości parametru a = 0,25. Jednakże wówczas koncentracje tlenku węgla i WWA osiągają niestety duże wartości. Na przykład koncentracja CO przekracza wartość 200 ppm. Wzrost ilości pierwotnego powietrza do wartości a = 0,8 powoduje spadek koncentracji CO poniżej 50 ppm, lecz także niestety niewielki wzrost koncentracji NO. Pomimo to emisja NO jest wyraźnie mniejsza (o ok. 20 - 40%) w porównaniu z przypadkiem "1", tj. przy rozpylaniu w przybliżeniu monofra-



Rys. 5. Emisja NO w funkcji ilości pierwotnego powietrza: Q=50 kW, $\lambda = 1,2$ Fig. 5. NO emission as a function of the amount of primary air: Q=50 kW, $\lambda = 1.2$

kcyjnym (a = 0,0). Należy podkreślić, że ta redukcja koncentracji NO nie jest spowodowana stopniowaniem powietrza do spalania ze względu na dwa fakty:

- 1) otwory wylotowe oleju, powietrza pierwotnego i powietrza wtórnego są usytuowane w tym samym przekroju wylotowym palnika,
- ilość pierwotnego powietrza nie przekraczała we względnym ujęciu 5%. W palnikach ze stopniowaniem powietrza ilość powietrza pierwotnego wynosi ok. 20%.

3. BADANIA NAD OGRANICZENIEM EMISJI WWA

Badania eksperymentalne nad opracowaniem metod redukcji emisji WWA przeprowadzono na stanowisku pomiarowym przedstawionym na rysunku 1. Zgodnie z zaleceniem WHO wykonano pomiary koncentracji dla sześciu WWA, tzn. BaP, BbF, BkF, FLU, PIR oraz sumy B(ghi)P+IND. Badania te dotyczyły określenia wpływu ilości powietrza spalania, ilości pierwotnego powietrza, cieplnej mocy płomienia, zawartości aromatycznych węglowodorów w oleju oraz rodzaju dodatków (Čr, Si. V). Rysunki 6, 7, 8 i 9 przedstawiają wyniki badań na przykładzie BaP i sumy ww. WWA. Analiza tych wyników prowadzi do następujących spostrzeżeń:

- 1) Emisja WWA i BaP osiąga minimum przy stosunku $\lambda = 1,3 1,4$ (rys .6). Dla $\lambda < 1,3$ lokalna koncentracja tlenu jest zbyt niska, aby spalanie węglowodorów było zupełne i całkowite, mimo że temperatura w płomieniu jest odpowiednia. W przypadku $\lambda > 1,4$ nadmiar powietrza jest zbyt duży, co powoduje spadek temperatury w płomieniu, wskutek którego następuje przerywanie łańcucha reakcji utleniania węglowodorów [7].
- 2) Z badań nad mikrostrukturą strugi wynika, że ilość pierwotnego powietrza ma istotny wpływ na rozkład wymiarów kropel (punkt 2). W przypadku emisji WWA wpływ ten jest mniej wyraźny, jednak z pewnym przybliżeniem można stwierdzić, że przy a = 0,8 emisja WWA i BaP jest minimalna (rys. 6). Wynika to z faktu, że wówczas średnia średnica kropel osiąga minimum (rys. 4a), co sprzyja zupełnemu i całkowitemu spalaniu [8].
- 3) Mniejsze wartości mocy cieplnej płomienia sprzyjają niższej emisji WWA i BaP (rys. 7). Mniejsza ilość spalin wymaga mniejszej prędkości przepływu gazów przez komorę paleniskową, co wydłuża czas pobytu reagentów. Sprzyja to pełniejszemu dopalaniu węglowodorów.
- 4) Badania wpływu zawartości aromatycznych węglowodorów w oleju (rys. 8) przeprowadzono stosując jako paliwo mieszaninę badanego oleju (tabl. 2) z naftą oświetleniową (15% aromatycznych węglowodorów) lub z benzenen (100% aromatycznych węglowodorów). Otrzymane wyniki wskazują na istotny wzrost koncentracji WWA i BaP przy zawartości aromatycznych węglowodorów powyżej 22%.



Rys. 6. Emisja WWA i BaP w zależności od ilości i rozdziału powietrza, Q = 36 kW, \Box , a = 0,0, \Diamond , a = 0,25, ×, a = 0,8

Fig. 6. PAH and BaP emission as a function of the amount and split of air, Q = 36 kW, \Box , $a = 0,0, \diamond$, $a = 0,25, \times$, a = 0,8



Rys. 7. Emisja WWA i BaP dla dwóch mocy cieplnych płomienia, a = 0, □, 50 kW, Δ, 36 kW
Fig. 7. PAH and BaP emission for two value of the heat power of flame, a = 0, □, 50 kW, Δ, 36 kW

5) Badania wpływu dodatków (Si, Cr, V) w ilości 0,1 g/l ol. nie upoważniają, na obecnym etapie badań, do stawiania jednoznacznych wniosków. Wprawdzie ok. dwukrotnie maleje emisja BaP przy zastosowaniu Si i Cr, jednak w przypadku innych węglowodorów emisja znacznie silniej rośnie tak, że ostatecznie emisja sumy WWA dla wszystkich trzech dodatków przewyższa emisję dla czystego oleju. Kompleksowa analiza oddziaływania dodatków powinna uwzględniać fakt, że same dodatki (lub ich pochodne) mogą również negatywnie oddziaływać na środowisko.



Rys. 8. Emisja WWA i BaP w zależności od zawartości aromatycznych węglowodorów, Q = 50 kW, a = 0, λ = 1,2, □, WWA, Δ, BaP

Fig. 8. PAH and BaP emission as a function of the content of aromatic hydrocarbons, Q = 50 kW, a = 0, $\lambda = 1.2$, \Box , WWA, Δ , BaP Końcowa koncentracja WWA jest efektem różnicy wydajności chemicznych reakcji łączenia paliwowych węglowodorów oraz utleniania powstałych wcześniej WWA. Przyjmuje się, że obie reakcje są drugiego rzędu. W wyniku powyższego rozumowania zależność na końcową koncentrację BaP jest następująca[11]:



Rys. 9. Wpływ dodatków na emisję WWA, Q = 50 kW, $\lambda = 1,3$, a = 0%Fig. 9. The influence of additions on PAH emissions, Q = 50kW, $\lambda = 1.2$, a = 0%

Dla danej prędkości i temperatury (rys. 1) oraz przy następujących warunkach brzegowych: $C_{BaP} = 0$, $C_{par} = 0$, $C_{pow} > 0$ powyższe równanie zostało rozwiązane. Otrzymano zbiór C_{BaP} będących funkcją współczynników równania Arrheniusa A₁, E₁, A₂, E₂. Z drugiej strony znane są z pomiarów wartości końcowe koncentracji (rys. 6), co umożliwia dobór liczbowych wartości tych współczynników: A₁ = 1,79 · 10⁶ m³/kg · s, E₁ = 79,5 MJ/kmol, A₂ = 2,5 · 10⁵ m³/kg · s, E₂ = 49 MJ/kmol. Otrzymane w tych obliczeniach wartości liczbowe energii aktywacji leżą w granicach przyjętych jako dopuszczalne,

4. PODSUMOWANIE

Niniejsze badania miały na celu zaprezentowanie nowej metody redukcji emisji NO_x podczas strugowego spalania oleju. Wykazano, że wykorzystując odpowiednio spreparowaną strugę kropel możliwe jest zmniejszenie koncentracji NO_x o 20 – 40%. Metoda ta polegała na dwufrakcyjnym rozpylaniu wskutek czego duże krople oddziałują redukcyjnie na NO powodując przejście związanego azotu w azot cząsteczkowy, N_2 . Proponowaną metodę redukcji NO_x należy traktować jako uzupełnienie istniejących i sprawdzonych pierwotnych metod redukcji emisji NO_x w procesach spalania paliw. Ograniczeniem tej metody jest prawdopodobieństwo niezupełnego i niecałkowitego spalania wyrażające się zwiększoną emisją CO i WWA.

którymi są reakcja łączenia C_2H_2 z rodnikiem C_6H_5 ($E^* = 20,2$ MJ/kmol) i reakcja pirolizy aromatycznych weglowodorów ($E^* = 250$ MJ/kmol) [11].

Przy przyjęciu jako celu minimalizacji emisji WWA optymalne wartości stosunku nadmiaru powietrza wynoszą 1,3 – 1,4 przy względnej ilości pierwotnego powietrza 0,8 kg/kg ol. Innym sposobem ograniczenia emisji WWA jest używanie oleju o małej zawartości aromatycznych węglowodorów nie przekraczającej 22% oraz stosowanie małych cieplnych obciążeń komór spalania. Stosowanie dodatków powinno być poprzedzone komleksową analizą ich wpływu na środowisko.

OZNACZENIA

C – koncentracja, kg/m³, kmol/m³

- A, B, E współczynniki równania Arrheniusa i energia aktywacji, kJ/kmol
- T, w, L temperatura, K, prędkość w osi płomienia, m/s, długość płomienia,m
 - $p_0,\,T_0~$ ciśnienie początkowe (0,1 MPa), temperatura początkowa (273 K)
 - τ, d, k czas spalania, s, średnica kropli, mm, stała spalania kropli, mm²/s
 - n , g
a\$udział azotu w oleju, %, zawartość aromatycznych weglow
odorów w oleju, %

- Q moc cieplna płomienia, kW
- $a = G_{pow}/G_o$ stosunek strumienia pierwotnego powietrza do strumienia oleju, kg pow/kg ol
 - $\lambda~-$ stosunek nadmiaru powietrza
 - $\Delta v_{i,k}$ przyrost ilości i-tego związku w k-ej reakcji
- BaP, BbF, BkF, FLU, PIR, BghiP+IND, WWA koncentracje odpowiednio: benzo(a)pirenu, benzo(b)flurantenu, benzo(k)fluorantenu, fluorantenu, pirenu, benzo(g,h,i)perylenu łącznie z indeno(1,2,3,c,d)pirenem oraz sumy ww. aromatycznych węglowodorów.

INDEKSY

- k, r, i numer reakcji, liczba reakcji, numer rodnika lub chemicznego składnika
 - f, b dotyczy reakcji wprost lub odwrotnej
 - g, d dotyczy fazy gazowej lub ciekłej (kropli)

pow, par, o – dotyczy powietrza, pary oleju lub oleju.

LITERATURA

- [1] Darnikiewicz T., Herczyk B., Pasoń A., Wasilewska J.: Badania zanieczyszczenia powietrza, Skrypt Pol. Śl. nr 1380, Gliwice 1988.
- [2] Glassman I.: Combustion, Academic Press, Orlando 1987.
- [3] Law F., Longwell J.P., Howard J.B.: The Effect of Ethylene and Benzene Addition on the Formation of PAH and Soot in Jet-Stired/Plug Flow Combustor, Twenty Four (International) Symposium on Combustion, The Combustion Institute, 1992.
- [4] Spalanie paliw ze szczególnym uwzględnieniem problemów ekologicznych. Ekspertyza PAN, Wydz. 4, Pr. zb. pod red. J. Tomeczka, Warszawa 1992.
- [5] Szlęk A.: Eksperymentalno-teoretyczne badania nad emisją tlenku azotu podczas spalania oleju, Praca doktorska, Instytut Techniki Cieplnej, Politechnika Śląska, Gliwice 1994
- [6] Wilk R., Szlęk. A.: Możliwość ograniczenia emisji NO_x przez sterowanie procesem rozpylania paliw ciekłych, G.P. i E., Nr 11. 1994, s. 8-11.
- [7] Wilk R., Zieliński Z.: Investigation of PAH emission during the combustion of fossil fuels, Second International Conference on Combustion Technologies for a Clean Environment, Lisboa, July 1993, Vol. 2 p. 10-17.

- [8] Wilk R., Zieliński Z., Szlęk A.: Der Einfluss des Verlaufs der Verbrennung von Ol auf die Emission Mehrkerniger Aromatischer Kohlenvasserstoffe, if-Die Industriefeurung, No 61, 1995, p. 28-36.
- [9] Wilk R., Szlęk A.: Sposób zmniejszania koncentracji tlenków azotu w spalinach zwłaszcza ze spalania paliw olejowych, Zgl. Pat. Nr P-302005, 1994.
- [10] Wilk R., Szlęk A.: The influence of atomized oil microstructure on NO_x emission, AES-Vol. 33, Thermodynamics and Design, Analysis, and Improvement of Energy Systems, ASME, Chicago, 1994, p. 1-6.
- [11] Wilk R., Szlęk A., Zieliński Z.: Wpływ warunków spalania oraz model tworzenia WWA przy spalaniu lekkiego oleju opałowego, G.P. i E.,1995 (w druku).

Recenzent: Dr hab. inz. Marek PRONOBIS

Abstract

The paper proposed the bi-frational atomization of oil as a method of the abatement of the NO_x emission. This idea was verified by means of the theoretical calculations and the experimental measurements. It was assumed one-dimentional axisymetric flow with known the temperature and velocity along the flame. Kinetic scheme of 256 chemical reactions was considered. The model was examined for two cases of atomization: monofractional and bi-fractional atomization. It appeared that the reduction of the NO_x emission took place in the case of the bi-fractional atomization. This case was tested by the experimental measurement during the burner combustion of light oil with the heat capacity of 50 kW. A special burner was applied allowing to create the special mikrostructure of the stream of droplets. At the bi-fractional atomization, 20 - 40 % abatement of the NO_x concentration took place. The large droplets, burning out of the main combustion zone, created the reducing radicals (CO, C_iH_i) and caused the transforming of the NO into the molecular nitrogen, N₂.

The PAH emission concerned the influence of the quantity of combustion air and primary air upon the emission of PAH in the course of combustion of light oil. It was ascertained that the emission of PAH reached its minimum at the air ratio of 1.3-1.4. The larger amount of primary air the smaller PAH concentration took place. It has been found that the long residance time brought about the small PAH concentration. A higher content of aromatic hydrocarbons favours a higher PAH emission particularly if the content of hydrocarbons exceeds the value of 22%. The influence of additions (Cr, Si, V) on PAH emission is unexplicid. Arrhenius' costants were determined at the reactions of BaP creation and BaP oxidation. It was ascertained that the value of activation energy was contained in the accepted limits.