ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1992

Seria: MECHANIKA z. 107 Nr kol. 1154

Kazimierz Kurpisz, Jan Składzień, Krzysztof Wilk

Instytut Techniki Cieplnej
Politechnika Śląska

MAKSYMALNA TEMPERATURA I PRZEWODNOŚĆ ELEKTRYCZNA SPALIN

Streszczenie. W pracy przedstawiono problem maksymalnej teoretycznie możliwej do otrzymania temperatury spalin i odpowiadającej tej temperaturze przewodności elektrycznej. Przyjęto stan równowagi chemicznej oraz temperaturę gazowych substratów równą temperaturze spalin otrzymywanych w komorze adiabatycznej.

Резюме. В работе представлена проблема максимальной теоретически возможной температуры продуктов горения и их электрической проводимости. Принято состояние химического равновесия, а тоже принято, что температура подогретого воздуха равная температуре продуктов горения за адиабатической камерой сгорания.

Summary. In the paper the problem of maximal theoretically possible to obtain combustion gases temperature and electric conductivity are considered. The states of chemical equilibrium and gaseous substrates temperature equal to combustion gases temperature from adiabatic chamber were assumed.

1. WSTĘP, PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA

W przypadku analizowania procesów wysokotemperaturowego spalania pojawia się problem maksymalnie teoretycznie możliwej do uzyskania temperatury spalin. W warunkach wysokotemperaturowej komory spalania układu MHD związane jest z tym dodatkowo zagadnienie przewodności elektrycznej spalin w ekstremalnych warunkach. Zaproponowano rozwiązanie tego problemu opierając się na dwóch podstawowych założeniach:

- Maksymalną teoretyczną temperaturę spalin uzyskuje się w przypadku prowadzenia procesu w adiabatycznej komorze spalania, przy czym temperatura utleniacza i spalin jest taka sama. Paliwo oraz ewentualnie

posiew , w przypadku układów MHD, mają temperaturę normalną. Jedynie przy spalaniu paliw gazowych jest również teoretycznie możliwe podgrzewanie paliwa do temperatury spalin. Wymaganą temperaturę utleniacza oraz ewentualnie paliwa gazowego uzyskuje się w podgrzewaczu tych mediów, w którym czynnikiem grzejącym są spaliny. Podgrzewacz umożliwia uzyskanie nieskończenie małej różnicy pomiędzy temperaturą czynnika grzejącego przy dopływie i czynnika lub czynników podgrzewanych przy wypływie z wymiennika ciepła. Efekt taki jest teoretycznie możliwy do uzyskania gdy zastępcza pojemność cieplna strumienia spalin jest nie mniejsza od zastępczej pojemności cieplnej strumienia utleniacza lub łącznie strumienia utleniacza i paliwa gazowego. Zastępcza pojemność cieplna ujmuje przy tym zarówno efekty fizyczne jak i chemiczne wynikające ze zmiany składu mediów.

- Spaliny i podgrzany utleniacz oraz ewentualnie paliwo gazowe znajdują się w stanie równowagi chemicznej.

2. PROCEDURY OBLICZENIOWE

Rozpatrywane media traktowano jak roztwory gazów półdoskonałych, pomijając w przypadku spalin wpływ domieszek w postaci skondensowanej [1+8]. Przyjęto, że istotną rolę odgrywają następujące składniki [1,4,8]: N_2, O_2, O, NO, CO_2, CO, H_2O, H_2, H, OH, Ar, SO_2, K, KO, KOH. Ostatnie trzy substancje pojawiają się w przypadku spalin opuszczających komorę układu MHD w wyniku doprowadzania do niej posiewu w postaci wodnego roztworu K_2CO_3. Przy spalaniu paliwa gazowego można ponadto na ogół pomijać SO_2. Jeśli podgrzewaniu ulega także paliwo wówczas w roztworze równowagowym pojawiają się dodatkowe składniki o charakterze substancji palnych.

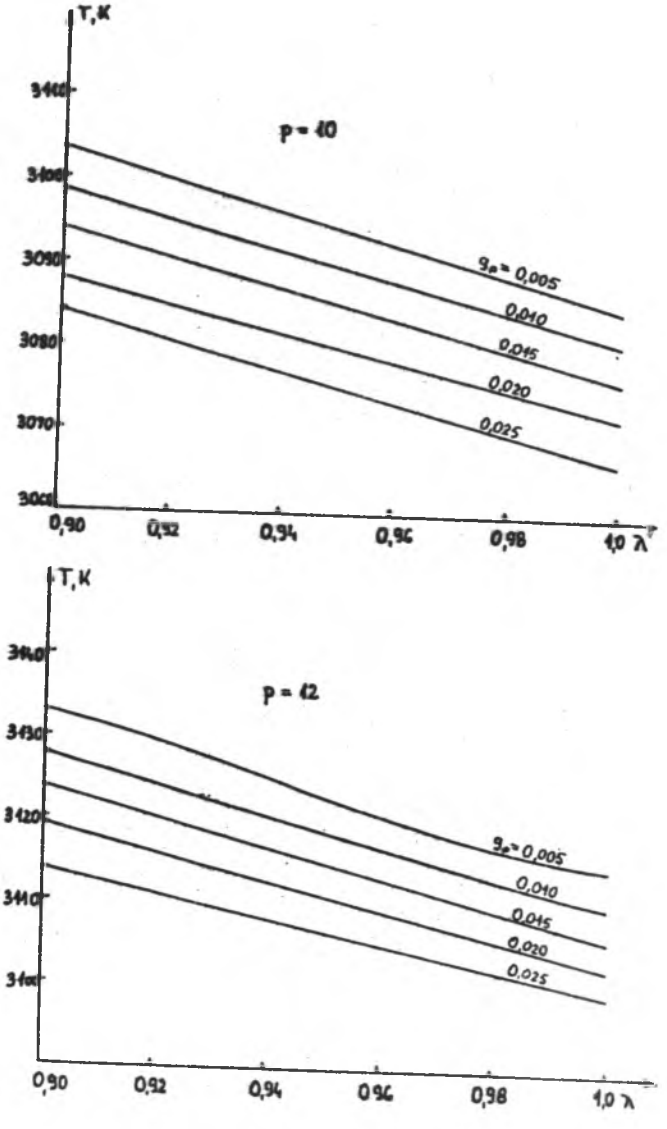
Podstawowym problemem obliczeniowym było opracowanie procedury do wyznaczania składu równowagowego wysokotemperaturowego wieloskładnikowego roztworu gazowego. Problem ten rozwiązano poprzez minimalizację swobodnej entalpii roztworu [1,7]. Do znajdywania minimum funkcji wielu zmiennych przy ograniczeniach typu równościowego (bilanse pierwiastków) oraz nierównościowego (nieujemne ilości składników) posłużono się oryginalną kombinacją metody Neldera-Meada i Hooke'a-Jeevsa.

Program określający równowagowy skład roztworu gazowego wymaga znajomości składu czynnika w warunkach normalnych oraz parametrów termicznych w postaci temperatury i ciśnienia. Temperatura spalin i równocześnie utleniacza wynika z równania bilansu energii dla adiabatycznej komory, zgodnie z którym suma entalpii utleniacza, paliwa i ewentualnie posiewu jest równa sumie entalpii spalin i ciekłego żużla. Sporządzono zatem specjalną procedurę do rozwiązywania nieliniowego równania bilansu komory z uwagi na niewiadomą temperaturę spalania, którą zakładano w sposób iteracyjny. W procedurze tej wykorzystano metodę Illinois.

3. WYNIKI OBLICZEŃ, WNIOSKI

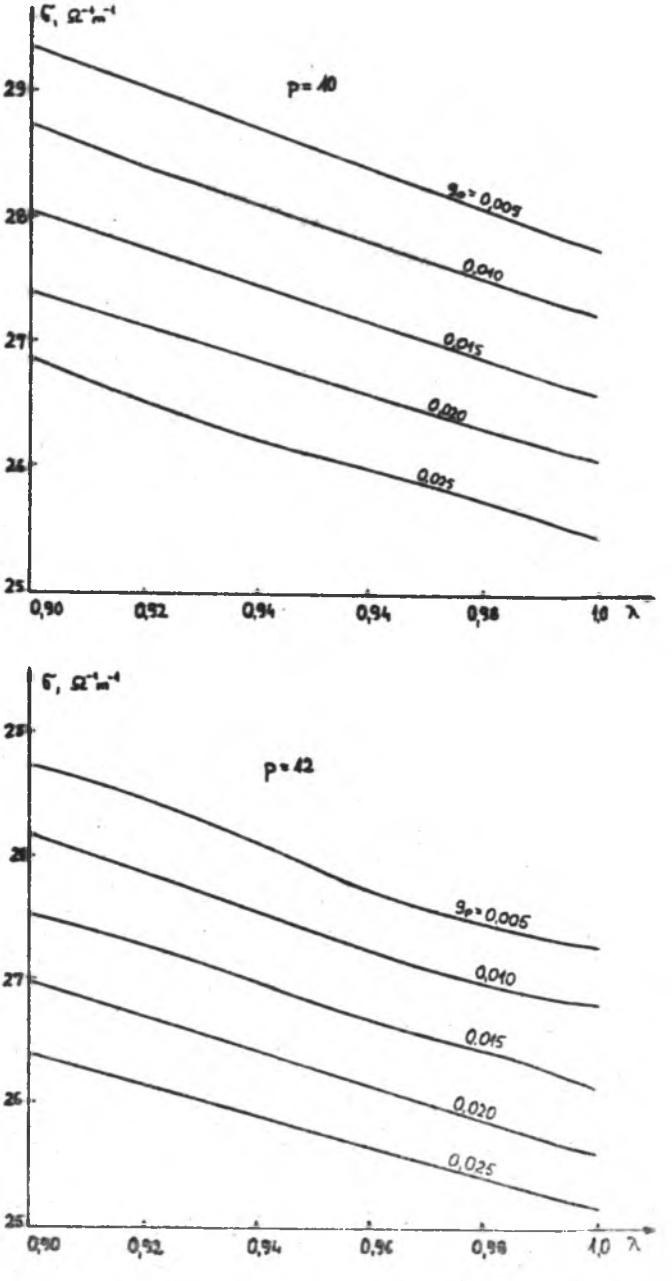
Obliczenia przeprowadzono dla przypadku spalania typowego węgla kamiennego w powietrzu suchym zawierającym 0,21% O_2. Parametrami wpływającymi na maksymalną teoretyczną temperaturę spalin T i ich przewodność elektryczną σ były: stosunek nadmiaru powietrza λ i udział posiewu w spalinach g_p. Definicja stosunku λ ma klasyczną postać, parametr g_p natomiast oznacza iloraz masy K_2CO_3 w spalinach i całkowitej masy spalin. Pomocniczym parametrem było ciśnienie względne p stanowiące stosunek ciśnienia rzeczywistego i normalnego. Entalpię chemiczną substancji wyrażano poprzez ich entalpię tworzenia. Przewodność elektryczną zjonizowanych wysokotemperaturowych spalin określano za pomocą klasycznej formuły wykorzystującej warunek równowagi Saha [1,8].

Przykładowe wyniki obliczeń pokazano na rysunkach 1 i 2 przedstawiających maksymalną teoretyczną temperaturę oraz odpowiadającą tej temperaturze przewodność elektryczną spalin. Na rys.1 zmienność temperatury ma charakter monotoniczny. Maksima krzywych, których istnienie jest intuicyjnie oczywiste, występują tu przy $\lambda<0,9$. Jak wykazały obliczenia zrealizowane uprzednio dla temperatury podgrzania powietrza 1800 K [1,2,8] maksymalną temperaturę spalin uzyskuje się wtedy przy $\lambda\cong0.90$. Podwyższenie temperatury podgrzanego powietrza od 1800 K do temperatury spalin równej ok. 3100 K powoduje przyrost temperatury spalania o nieco ponad 200 K. Znacznie wzrasta natomiast przewodność elektryczna spalin, która w rozpatrywanym zakresie



Rys. 1. Maksymalna teoretyczna temperatura spalin

Fig. 1. Combustion gases maximal theoretical temperature



Rys. 2. Przewodność elektryczna wysokotemperaturowych spalin

Fig. 2. High-temperature combustion gases electric conductivity

λ i g_p również nie ma ekstremum. Podobne rezultaty uzyskano także dla nieco innych wartości ciśnienia względnego p.

LITERATURA

[1] Szargut J.,Składzień J.,Kurpisz K.,Wilk K.: Analiza termodynamiczna członu wysokotemperaturowego siłowni MHD-parowej, praca naukowo-badawcza 4.2.2.1 CPBP 02.18, Instytut Techniki Cieplnej Politechniki Śląskiej, Gliwice 1986-1990.

[2] Składzień J.: Uproszczona metoda analizy cieplnej wysokotemperaturowej komory spalania generatora MHD, ZN Pol. Śl., ser. Energetyka z. 92, Gliwice 1986.

[3] Składzień J., Wilk K.: Analiza cieplna układu wysokotemperaturowego siłowni MHD-parowej, ZN Pol. Śl., ser. Energetyka z.92, Gliwice 1986.

[4] Kurpisz K., Składzień J., Wilk K.: Wpływ wybranych składników wysokotemperaturowych zjonizowanych spalin na ich entalpię i entropię, ZN Pol.Śl., ser. Energetyka z. 108, Gliwice 1990.

[5] Składzień J., Kurpisz K., Wilk K.:Wpływ składu węgla na parametry spalin w wysokotemperaturowej komorze spalania generatora MHD, ZN Pol. Śl., ser. Energetyka z. 112, Gliwice 1990.

[6] Wilk K., Składzień J., Kurpisz K.: Analiza układu wysokotemperaturowego elektrowni MHD-parowej, Materiały konferencyjne XIV Zjazdu Termodynamików, Kraków 1990.

[7] Kurpisz K.: Problemy obliczeniowe wyznaczania składu równowagowego roztworu gazów półdoskonałych, w druku.

[8] Wilk K., Składzień J., Kurpisz K.: Analiza układu wysokotemperaturowego elektrowni MHD-parowej, w druku.

COMBUSTION GASES MAXIMAL TEMPERATURE AND ELECTRIC CONDUCTIVITY

Maximal theoretically possible to obtain combustion gases temperature is defined as combustion gases outlet temperature while:

- combustion chamber is adiabatic
- gaseous substrates are preheated to the combustion gases temperature in the ideal heat exchanger,

- combustion gases and gaseous substrates are in the states of chemical equilibrium.

The solid, liquid or gas fuel, oxidizer and ionization seed, if the combustion chamber is a part of high-temperature MHD system, are the combustion process substrates. The high-temperature combustion gases and liquid slag, if solid fuel is used, are the process products. The gaseous substances are regarded as solutions of semi-ideal gases [1+8]. Chemical equilibrium states of these substances were determined by minimizing free enthalpy [1,7]. Calculations procedure uses Nelder-Mead and Hooke-Jeevs methods. The energy balance equation for combustion chamber with unknown combustion gases temperature has been solved iteratively using the Illinois procedure.

Some results of the examplary calculations, having forms of combustion gases temperature T and electric conductivity σ, as functions of air excess ratio λ and mass fraction of seeding in combustion gases g_p, when relative pressure p is known, are given in Fig.1 and 2. The combustion chamber has been supplied using typical coal, dry atmospheric air and water solution of K_2CO_3 as seeding. It was assumed [1,4,8] that the combustion gases consists of: N_2, O_2, O, NO, CO_2, CO, H_2O, H_2, H, OH, Ar, SO_2 K, KO, KOH, and that the preheated air consists of: N_2, O_2, O, NO, Ar.