ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Nr 104 Energetyka z. 14 1964

JAN SZARGUT

Katedra Energetyki Cieplnej

PAWEŁ WEISS

Instytut Metali Nieżelaznych

WPŁYW PODGRZANIA POWIETRZA NA STRATY EGZERGII PRZY SPALANIU [1)]

Streszczenie. Proces spalania jest wysoce nieodwracalny, towarzyszy mu duża strata egzergii. Stratę tę można zmniejszyć m.in. przez podgrzanie substratów spalania. Skuteczność tej metody można ocenić za pomocą tzw. mnożnika zmniejszenia nieodwracalności, który wyraża stosunek zwiększenia egzergii spalin w izobaryczno-adiabatycznym procesie spalania do przyrostu egzergii substratów spalania w procesie ich podgrzewania. Mnożnik ten jest zawsze większy od jedności. Wprowadzono pojęcie różniczkowego i całkowego mnożnika zmniejszenia nieodwracalności. Sporządzono wykresy tego mnożnika dla spalania jednorodnych składników paliw (C, CO, H_2) w podgrzanym powietrzu bez uwzględnienia i z uwzględnieniem dysocjacji.

1. Nieodwracalność zjawiska spalania

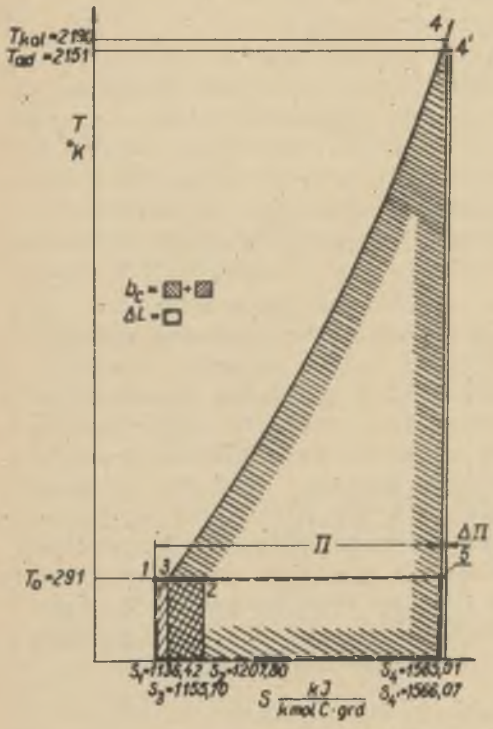
Wszystkie zjawiska przyrody przebiegają nieodwracalnie, w wyniku czego suma przyrostów entropii wszystkich ciał uczestniczących w danym procesie jest większa od zera. Każda nieodwracalność jest przyczyną bezpowrotnej straty egzergii. Stratę tę wyraża iloczyn temperatury bezwzględnej otoczenia i sumy przyrostów entropii ciał uczestniczących w zjawisku [2].

Szczególnie duże straty egzergii występują w procesach spalania. Procesy te przebiegają niemal zawsze z równoczesnym oddawaniem ciepła. Występują więc równocześnie co najmniej dwa zjawiska nieodwracalne: nieodwracalna reakcja chemiczna i nieodwracalna wymiana ciepła. Analizę tych zjawisk można rozdzielić, przyjmując, że najpierw przebiega adiabatyczne spalanie, po zakończeniu którego rozpoczyna się wymiana ciepła.

Przedmiotem rozważań niniejszej pracy są straty egzergii w izobaryczno-adiabatycznym procesie spalania. Nieodwracalność takiego procesu można wyraźnie zinterpretować za pomocą wykresu (T,s). Na

1) Praca była tematem referatu wygłoszonego na II Sympozjonie Termodynamiki Technicznej (Szczyrk, 7-14.II.1963 r.).

osi odciętych tego wykresu występują wartości entropii chemicznej (zwanej też entropią bezwzględną) odniesione do ustalonej ilości substancji paliwa (na przykład do jednostki paliwa).



Rys. 1. Strata egzergii przy adiabatyczno-izobarycznym spalaniu pierwiastka węgla w powietrzu atmosferycznym

Na rysunku 1 przeanalizowano proces spalania pierwiastka węgla w powietrzu. Temperatura substratów jest równa temperaturze otoczenia. Nakreślono izobarę spalin w zakresie od temperatury otoczenia do kalorymetrycznej temperatury spalania (temperatura kalorymetryczna wystąpiłaby po adiabatycznym spalaniu przebiegającym bez dysocjacji produktów spalania). Pole pod zaznaczonym na rysunku odcinkiem izobary spalin przedstawia wartość opałową paliwa. Punkt 3 odnosi się do stanu spalin w temperaturze otoczenia i pod ciśnieniem otoczenia. Spaliny w tym stanie mają jeszcze resztkową egzergię chemiczną [3]. W związku z tym suma S_2 entropii składników spalin w stanie równowagi termodynamicznej z otoczeniem jest większa od entropii S_3. Pole $(S_2 - S_3)\,T_o$ przedstawia resztkową egzergię chemiczną spalin. Punkt 1 odnosi się do sumarycznej entropii chemicznej substratów spalania.

Egzergię chemiczną paliwa można obliczyć za pomocą wartości pokazanych na rysunku 1,

$$b_{ch} = W_d - T_o\,(S_1 - S_2) \qquad (1)$$

Egzergię chemiczną paliwa przedstawia więc suma pól zaznaczonych na rysunku 1. Przy spalaniu pierwiastka węgla spełniona jest nierówność $S_1 < S_2$, w związku z czym egzergia chemiczna pierwiastka węgla jest większa od wartości opałowej. Może też zdarzyć się, że $S_1 > S_2$ i wtedy egzergia chemiczna jest mniejsza od wartości opałowej. Przy paliwach technicznych różnica pomiędzy wartością opałową i egzergią chemiczną jest zwykle niewielka. Wielkość $S_2 - S_1$ jest więc mała w porównaniu do $S_4 - S_3$. Również wielkość $S_2 - S_3$ jest mała, gdyż egzergia chemiczna spalin ma wartość znacznie mniejszą niż egzergia chemiczna paliwa.

Stratę egzergii spowodowaną przez nieodwracalność adiabatycznego zjawiska spalania określa wzór:

$$\Delta L = (S_4 - S_1)\, T_o = (S_5 - S_1)\, T_o \qquad (2)$$

Z rysunku 1 widać, że strata ta stanowi znaczną część egzergii chemicznej paliwa.

Dysocjacja produktów spalania przyczynia się do zwiększenia straty egzergii. Adiabatyczne bowiem przejście od stanu spalin niezdysocjowanych (punkt 4 na rysunku 1) do stanu spalin zdysocjowanych (punkt 4') jest samoczynne, przebiega więc ze wzrostem entropii. Zwiększenie sumy przyrostów entropii spowodowane przez dysocjację oznaczono na rysunku 1 symbolem $\Delta \Pi$.

Nieodwracalność adiabatyczno-izobarycznego procesu spalania można też przedstawić za pomocą wykresu Thringa [4] w układzie $(I, -\frac{1}{T})$. Na rysunku 2 pokazano wykres Thringa dla zupełnego spalania pierwiastka węgla przy $\lambda = 1$. Na osi rzędnych układu nanosi się oczywiście wprost podziałkę temperatur.

W układzie Thringa można analizować dowolne przemiany izobaryczne. Elementarny pasek prostopadły do osi I zawarty pomiędzy krzywymi p = idem dotyczącymi ciał wymieniających ciepło przedstawia elementarną sumę przyrostów entropii $d\Pi$

$$d\Pi = dQ\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \qquad (3)$$

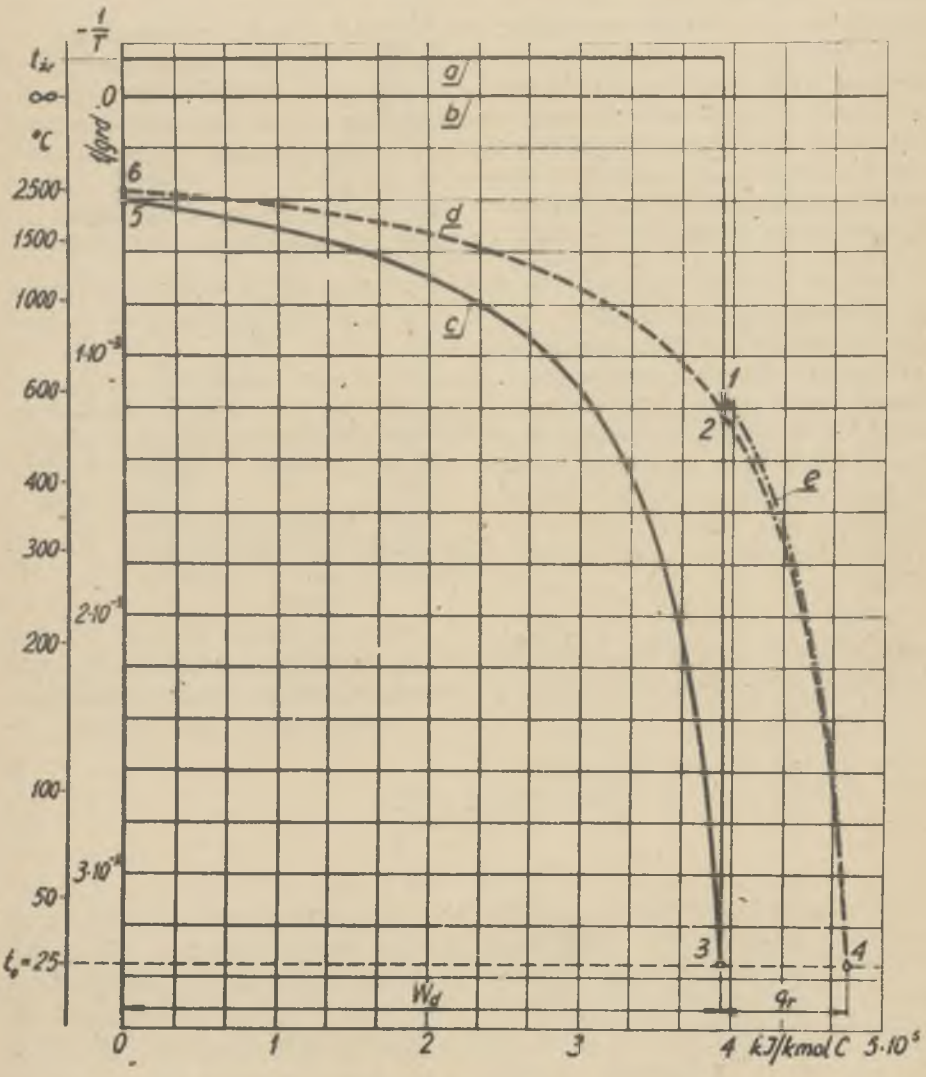
Elementarny zaś pasek pomiędzy krzywą p = idem a rzędną T_o jest proporcjonalny do elementarnego przyrostu egzergii termicznej danego ciała [2]:

$$\frac{dB_t}{T_o} = dI\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o}\right) \qquad (4)$$

Pola wykresu Thringa przedstawiają więc zredukowane straty egzergii i przyrosty egzergii tj. wielkości $\Delta L/T_o$ oraz $\Delta B_t/T_o$. Równocześnie na osi odciętych tego wykresu występują pozycje bilansu energetycznego (zmiany entalpii oraz ciepło). Najlepiej jest na osi odciętych wprowadzać wartości względne, odniesione do jednostki paliwa.

M.W. Thring zastępuje na swoim wykresie egzergię chemiczną paliwa - spadkiem egzergii źródła ciepła, którego temperatura T_{zr} wynika z następującej relacji:

$$b_{ch} = W_d \frac{T_{zr} - T_o}{T_{zr}} = T_o W_d \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_{zr}}\right) \tag{4}$$



Rys. 2. Wykres Thringa adiabatyczno-izobarycznego spalania pierwiastka węgla

Zredukowaną egzergię chemiczną paliwa b_{ch}/T_o przedstawia więc prostokąt o szerokości W_d zawarty pomiędzy prostymi T_o = idem i T_{zr} = idem. Jeżeli egzergia chemiczna paliwa jest większa od wartości opałowej to z wzoru (4) wynika ujemna wartość temperatury T_{zr} czego Thring nie przewidział. Wartość taka oznacza tu temperaturę wyższą od nieskończenie wysokiej; takie znaczenie ujemnej temperatury bezwzględnej jest stosowane w innych dziedzinach termodynamiki. Ujemna wartość T_{zr} występuje na przykład przy spalaniu pierwiastka węgla. Na rysunku 2 egzergię chemiczną węgla przedstawia pole pomiędzy prostą "a" oraz prostą T_o = idem.

Pole zawarte pomiędzy krzywą entalpii I spalin a prostą idem przedstawia zredukowaną egzergię fizyczną spalin. Egzergii chemicznej spalin Thring w rozważaniach swoich nie uwzględnia. Zredukowaną egzergię chemiczną spalin można przedstawić podobnie jak egzergię chemiczną paliwa, to znaczy za pomocą prostokąta o szerokości W_d i wysokości wynikającej z równania:

$$\Delta\left(\frac{1}{T}\right) = \frac{B_{ch\ sp}}{T_o\ W_d} \tag{5}$$

gdzie:

$B_{ch\ sp}$ - egzergia chemiczna spalin przypadająca na jednostkę paliwa.

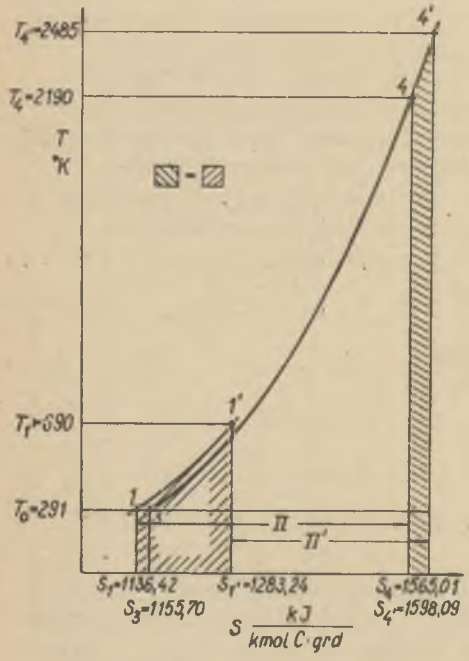
Metodę tę można zastosować zarówno przy spalaniu zupełnym jak niezupełnym. W przypadku pierwszym $B_{ch\ sp}$ wyraża resztkową egzergię chemiczną spalin, w przypadku zaś drugim wartość $B_{ch\ sp}$ wynika głównie z zawartości palnych gazów w spalinach.

Prostokąt wyrażający egzergię chemiczną spalin naniesiono na rysunku 2 pod temperaturą zastępczą T_{zr} paliwa, dzięki czemu ułatwione jest przedstawianie strat egzergii przy spalaniu. Prostokąt ten zawarty jest pomiędzy prostymi a i b (prosta b pokrywa się niemal z linią $T = \infty$). Pole pomiędzy prostą b i krzywą c przedstawia zredukowaną stratę egzergii spowodowaną przez nieodwracalność spalania. Widać, że strata ta stanowi znaczną część egzergii chemicznej paliwa. Warto nadmienić, że zwiększenie stosunku nadmiaru powietrza przy spalaniu zwiększyłoby tę stratę, gdyż spowodowałoby obniżenie temperatury T_5 a więc przesunięcie w dół krzywej c.

2. Zmniejszenie strat egzergii na skutek podgrzania substratów spalania

Z bilansu energetycznego wynika, że zwiększenie entalpii substratów wprowadzonych do adiabatyczno-izobarycznej komory spalania o ΔI powoduje zwiększenie entalpii spalin o tę samą wartość. Na rysunku 3 pokazano w układzie (T,s) przyrost entalpii substratów i spalin za pomocą pól pod odpowiednimi odcinkami izobar. Pola te są sobie równe, w związku z czym przyrost entropii spalin jest mniejszy od przyrostu entropii substratów. Suma przyrostów entropii w procesie spalania ulega więc zmniejszeniu dzięki podgrzaniu substratów

$$s_4' - s_1' < s_4 - s_1 \qquad (6)$$



Rys. 3. Zmniejszenie straty egzergii na skutek podgrzania powietrza w adiabatyczno-izobarycznym procesie spalania pierwiastka węgla

Wpływ podgrzania powietrza lub paliwa na straty egzergii przy spalaniu można też przedstawić na wykresie Thringa. (Na wykresie tym trudno byłoby natomiast zinterpretować równoczesne podgrzewanie powietrza i paliwa. Wykres ten nadaje się bowiem w zasadzie tylko do analizowania procesów jednostrumieniowych, w których kolejne przemiany czynnika termodynamicznego następują szeregowo, nie zaś równolegle).

Na rysunku 2 pokazano wpływ podgrzewania powietrza na straty egzergii przy spalaniu pierwiastka węgla. Krzywa d dotyczy spalin uzyskanych po podgrzaniu powietrza. Odcinek 3-4 określa względną ilość q_r ciepła pochłoniętego przez podgrzane powietrze. Krzywa e odnosi się do podgrzanego powietrza, pole więc pod tą krzywą określa zredukowaną egzergię podgrzanego powietrza. (Pojemność cieplna powietrza jest mniejsza od pojemności cieplnej spalin, w związku z czym tej samej ilości ciepła q_r odpowiada spadek temperatury spalin mniejszy od przyrostu temperatury powietrza. Thring nie uwzględnia tego efektu). Dzięki podgrzaniu powietrza zredukowana egzergia spalin wzrasta o pole między krzywymi c i d. Widać,

że przyrost ten jest znacznie większy od egzergii podgrzanego powietrza. Podgrzewanie substratów spalania jest więc bardzo skuteczną metodą zmniejszania strat egzergii przy spalaniu.

3. Mnożnik zmniejszenia nieodwracalności

Korzyści uzyskane dzięki podgrzaniu substratów spalania można scharakteryzować za pomocą wprowadzonego przez J. Szarguta pojęcia mnożnika zmniejszenia nieodwracalności ν. Mnożnik ten określa stosunek przyrostu egzergii spalin do przyrostu egzergii podgrzanych substratów spalania.

Całkowy mnożnik zmniejszenia nieodwracalności definiuje się wzorem:

$$\nu = \frac{\Delta B_{sp}}{\Delta B'} \tag{7}$$

gdzie:

$\Delta B'$ - przyrost egzergii substratów podczas ich podgrzewania,

ΔB_{sp} - przyrost egzergii spalin uzyskany dzięki podgrzaniu substratów.

Wykorzystując wzór na izobaryczną zmianę egzergii można sprowadzić równanie (7) do następującej postaci:

$$\nu = \frac{T_o\,(\Delta S' - \Delta S_{sp})}{\Delta B'} + 1 \tag{8}$$

gdzie:

$\Delta S'$, ΔS_{sp} - przyrost entropii substratów i spalin uzyskany na skutek podgrzania substratów spalania.

Z rozważań punktu 2 wynika, że zawsze jest spełniona nierówność $\Delta S' > \Delta S_{sp}$. Widać, stąd, że mnożnik ν jest zawsze większy od jedności. Przyrost egzergii spalin uzyskany dzięki podgrzaniu substratów spalania jest więc zawsze większy od egzergii podgrzanych substratów.

Oprócz całkowego mnożnika zmniejszenia nieodwracalności można zdefiniować mnożnik różniczkowy ν_d:

$$\nu_d = \frac{dB_{sp}}{dB'} \tag{9}$$

Przy obliczaniu tego mnożnika należy uwzględnić, że przyrost entalpii spalin uzyskany dzięki podgrzaniu substratów jest równy przyrostowi entalpii podgrzanych substratów. Warunek ten można ująć prostym wzorem, jeżeli podgrzewa się tylko jeden ze substratów spalania (powietrze lub paliwo) i jeżeli nie uwzględnia się dysocjacji

$$G_{sp}\, c_{p\,sp}\, dT_{kal} = G'\, c'_p\, dT' \tag{10}$$

gdzie:

T_{kal}, T' - temperatura kalorymetryczna spalin po adiabatycznym spalaniu i temperatura podgrzanego substratu spalania.

(Symbole G', c'_p, dT' dotyczą tego substratu spalania, który podlega podgrzewaniu).

Po uwzględnieniu warunku (10) i po założeniu, że wszystkie przemiany są izobaryczne, otrzymuje się następujące równanie na ν_d (słuszne dla spalania bez dysocjacji):

$$\nu_d = \frac{T_{kal} - T_o}{T_{kal}} \frac{T'}{T' - T_o} \tag{11}$$

Przybliżony wzór na ν_d można otrzymać, jeżeli przyjmie się, że ciepło właściwe substratów i spalin nie zależy od temperatury i że spalanie przebiega bez dysocjacji. Wówczas bilans energetyczny adiabatyczno-izobarycznego procesu spalania można ująć wzorem:

$$G''c''_p\,(T_{kal\,o} - T_o) + G'c'_p\,(T' - T_o) = G''c''_p\,(T_{kal} - T_o) \tag{12}$$

gdzie:

$T_{kal\,o}$ - temperatura kalorymetryczna spalania bez podgrzania substratów spalania.

Stosunek pojemności cieplnej podgrzewanego substratu spalania do pojemności cieplnej spalin można oznaczyć skróconym symbolem:

$$a = \frac{G'c'_p}{G_{sp}\, c_{p\,sp}} < 1 \tag{13}$$

Po uwzględnieniu równań (12) i (13) wzór (11) przyjmuje postać:

$$\nu_d = \frac{T_{kal} - T_o}{T_{kal}} \left(1 + \frac{a\,T_o}{T_{kal} - T_{kal\,o}}\right) =$$

$$= \left[1 - \frac{T_o}{T_{kal\,o} + a(T' - T_o)}\right] \frac{T'}{T' - T_o} \tag{14}$$

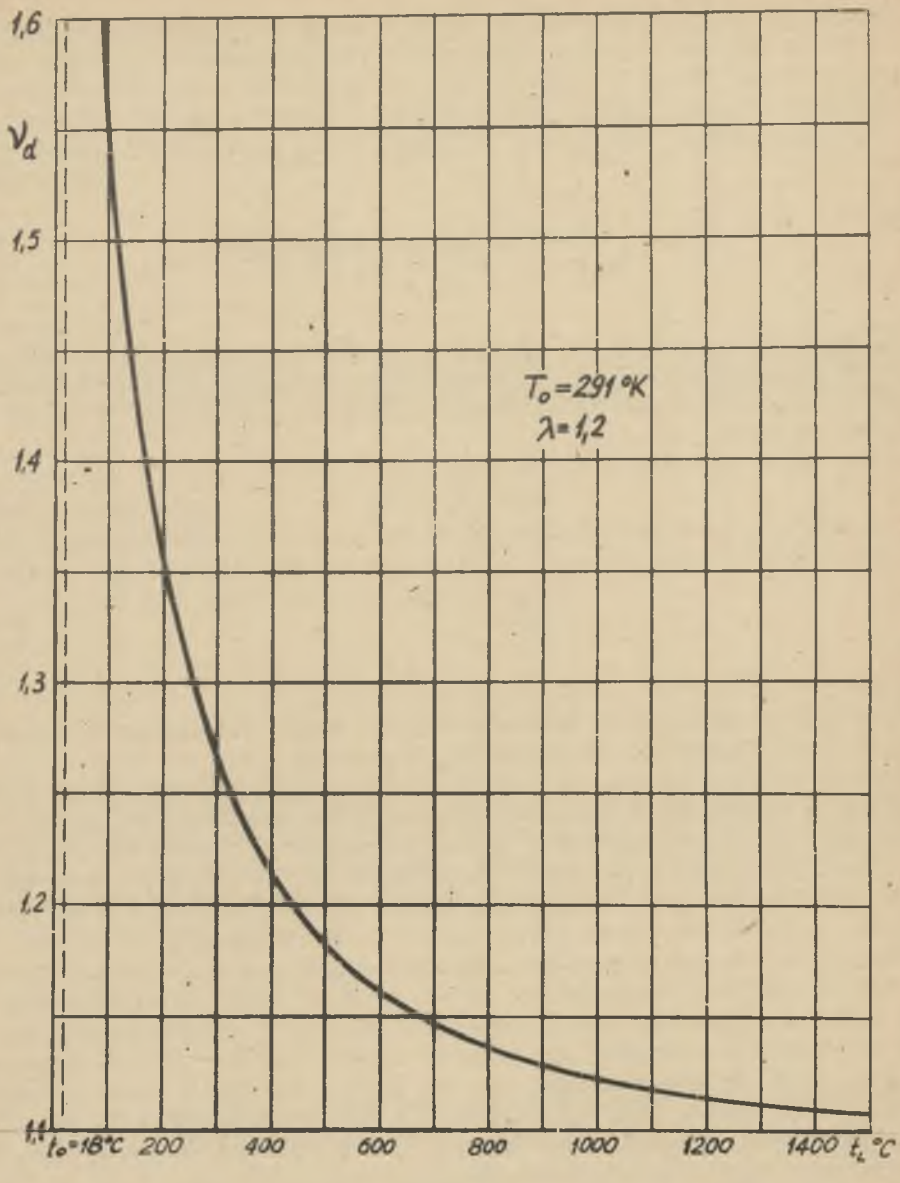
Z równania (14) wynika, że mnożnik ν_d ma tym większą wartość, im większą pojemność cieplną ma podgrzewany substrat spalania w stosunku do pojemności cieplnej spalin. Skrajne wartości ν_d nie zależą od stosunku a.

$$\lim_{T' \to T_o} \nu_d = \infty \tag{15}$$

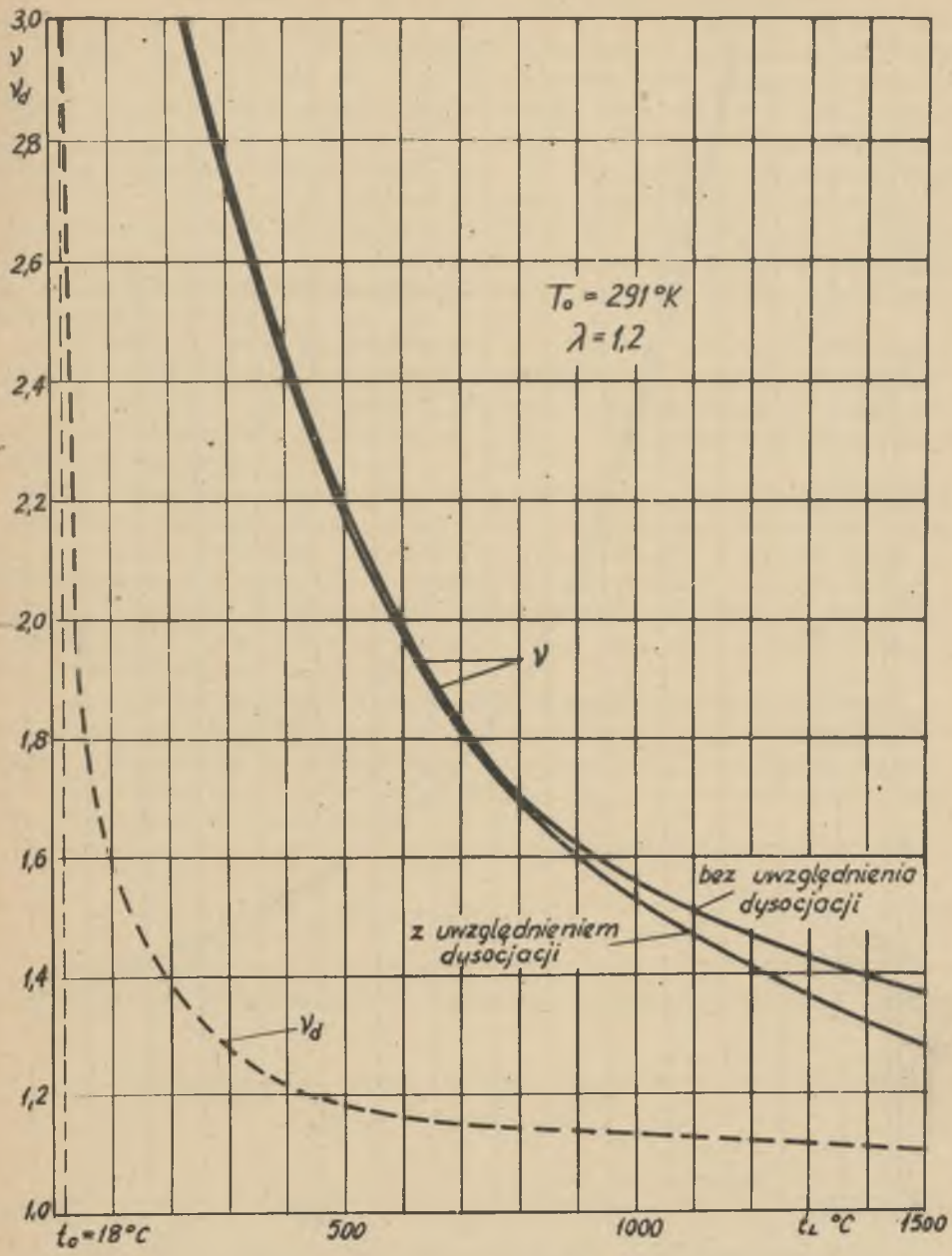
$$\lim_{T' \to \infty} \nu_d = 1 \tag{16}$$

Opłacalność podgrzewania substratów jest więc największa w temperaturach zbliżonych do temperatury otoczenia.

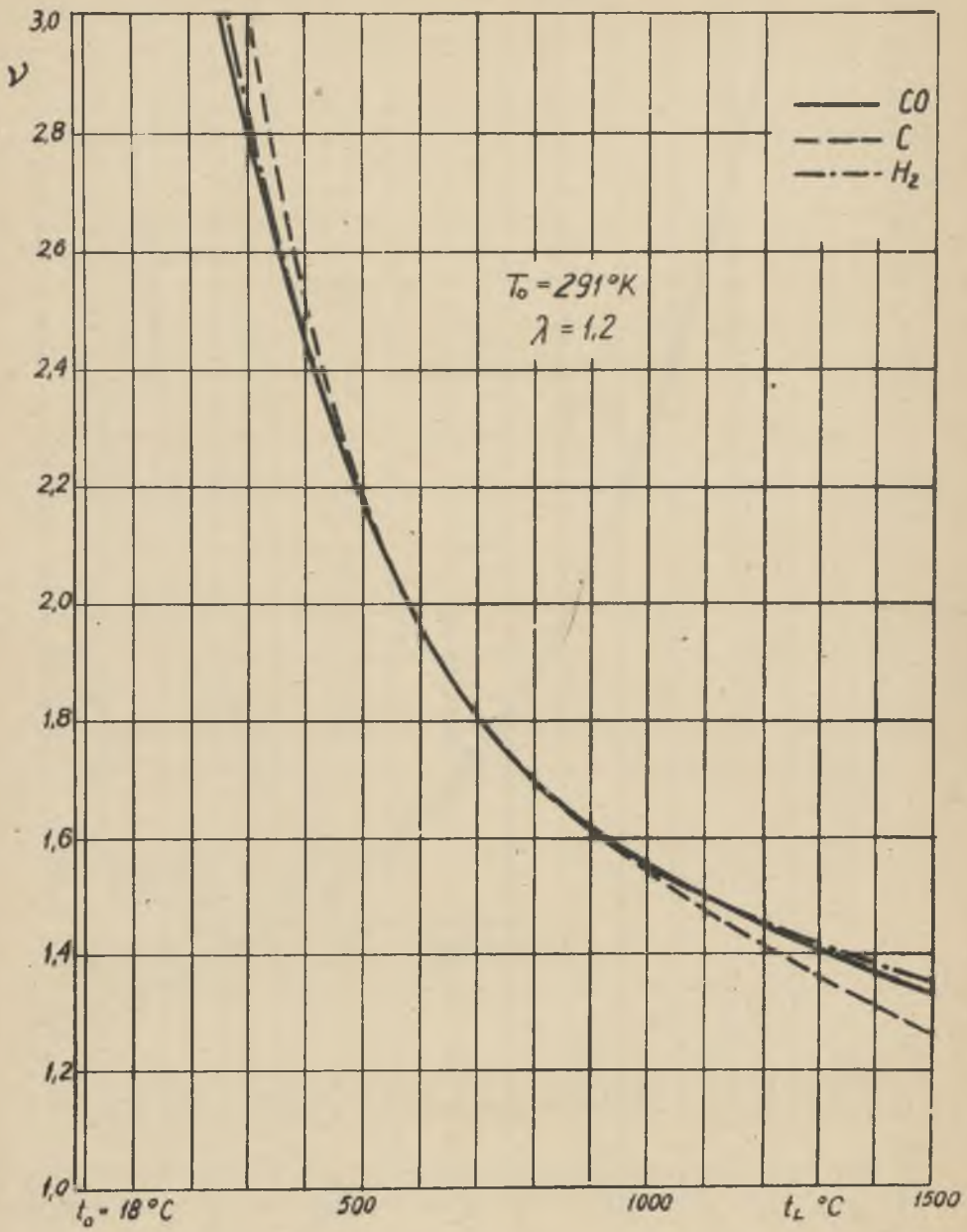
Należy zwrócić uwagę, że podgrzewanie substratów spalania jest związane z dodatkowymi stratami egzergii (na przykład na skutek skończonej różnicy temperatur w rekuperatorze). Straty te zmniejszają korzyści uzyskane dzięki podgrzaniu substratów, co może nasuwać przepuszczenie, że istnieje jakaś optymalna temperatura podgrzania, przy której suma strat egzergii towarzysząca procesowi spalania jest najmniejsza. Nie byłoby jednak poprawne poszukiwanie tej optymalnej temperatury przez badanie sumy strat egzergii przy adiabatycznym spalaniu i straty egzergii w podgrzewaczu substratów spalania. Stopień podgrzania substratów ma bowiem wpływ także na inne straty egzergii np. na stratę egzergii spowodowaną przez nieodwracalną wymianę ciepła w komorze spalania i na zewnętrzną stratę egzergii spowodowaną przez odprowadzanie spalin do otoczenia.



Rys.4. Różniczkowy mnożnik zmniejszenia nieodwracalności przy spalaniu C, CO i H_2 bez uwzględnienia dysocjacji produktów spalania



Rys.5. Porównanie wartości ν oraz ν_d dla spalania pierwiastka węgla; wpływ dysocjacji na mnożnik całkowy



Rys.6. Całkowy mnożnik zmniejszenia nieodwracalności dla spalania C, CO i H_2 z uwzględnieniem dysocjacji produktów spalania

4. Spalanie C, CO i H_2 w podgrzanym powietrzu

Rysunki 4, 5 i 6 ilustrują wpływ podgrzania powietrza na straty egzergii przy spalaniu C, CO i H_2. Wykresy sporządzono przy założeniu, że stosunek nadmiaru powietrza ma wartość $\lambda = 1,2$, temperatura zaś otoczenia wynosi $T_o = 291\ ^oK$. Na rysunku 4 pokazano zależność mnożnika różniczkowego ν_d od temperatury powietrza. Wartości ν_d obliczono za pomocą ścisłego wzoru (11), nie posługiwano się więc przybliżonym wzorem (14). Nie uwzględniono natomiast dysocjacji przy spalaniu. Krzywe na wykresie mają niemal jednakowy przebieg dla wszystkich rozpatrywanych paliw i dlatego ujęto je jedną linią.

Na rysunku 5 porównano wartości ν oraz ν_d dla spalania pierwiastka węgla. Ponadto pokazano wpływ dysocjacji na mnożnik całkowy ν. Wreszcie na rysunku 6 pokazano mnożnik całkowy ν dla jednorodnych składników paliw (C, CO, H_2) z uwzględnieniem dysocjacji produktów spalania.

Przy określaniu składu spalin, które uległy dysocjacji, posługiwano się wykresem pomocniczym (rys. 7) podającym zależność między udziałami molowymi CO lub H_2 w spalinach a temperaturą adiabatyczną spalania. Na wykresie tym naniesiono po jego lewej stronie zależność adiabatycznej temperatury spalania T_{ad} od logarytmu stałej równowagi chemicznej K_p, przy czym wartości K_p zaczerpnięto z publikacji [1].

Prawa strona wykresu przedstawia zależność udziału molowego produktu dysocjacji (CO lub H_2) od stałej równowagi chemicznej. Sposób wyznaczenia tej zależności pokazano niżej na przykładzie spalin zawierających przed dysocjacją CO_2, N_2 i O_2. Wykorzystano równanie reakcji dysocjacji

$$CO_2 \rightarrow CO + \frac{1}{2} O_2 \tag{17}$$

Zgodnie z tym równaniem stałą równowagi chemicznej określa wzór:

$$K_p = \frac{O_2^{\frac{1}{2}} \cdot CO}{CO_2} \cdot P^{\frac{1}{2}} \tag{18}$$

gdzie:

O_2, CO, CO_2 - udziały molowe składników spalin po dysocjacji,

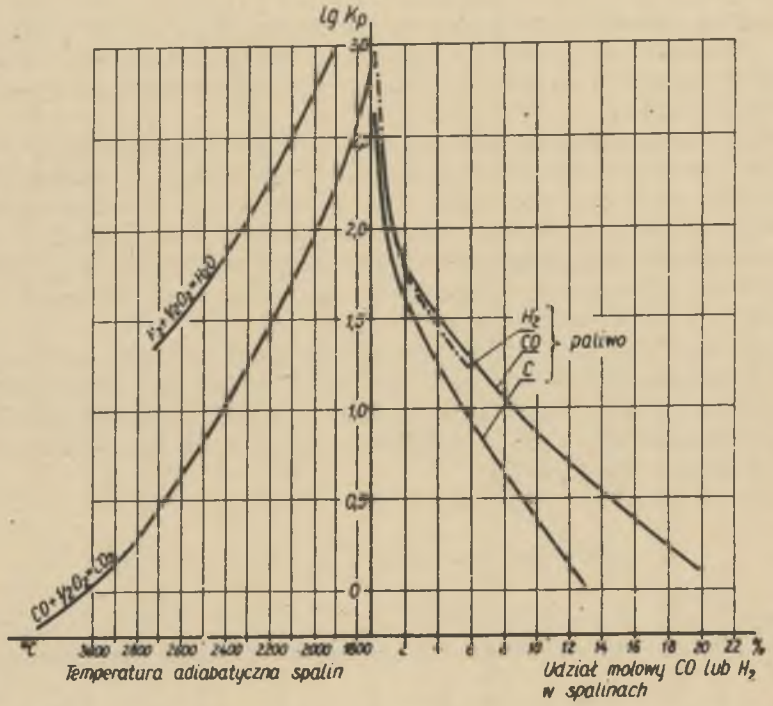
P - ciśnienie spalin.

W równaniu (18) podstawia się:

$$O_2 = \frac{O_2' + \frac{1}{2} CO}{1 + \frac{1}{2} CO} \qquad CO_2 = \frac{CO_2' - CO}{1 + \frac{1}{2} CO} \tag{19}$$

gdzie:

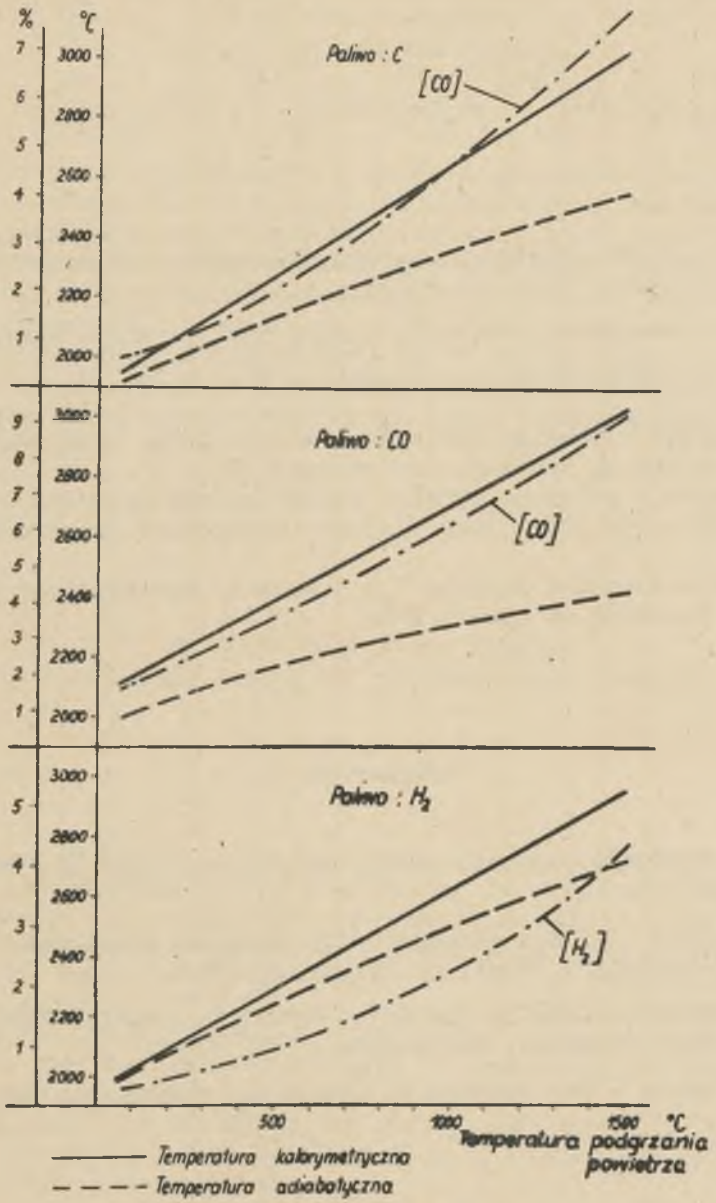
O_2', CO_2' - udziały molowe składników spalin przed dysocjacją.



Rys. 7. Wykres pomocniczy do wyznaczania udziału molowego produktów dysocjacji w spalinach

Po tym podstawieniu otrzymuje się równanie na CO, które rozwiązuje się metodą prób, dla kilku wartości K_p. Tak dochodzi się do krzywej po prawej stronie wykresu.

Na rysunku 8 pokazano zależność adiabatycznej i kalorymetrycznej temperatury spalania od temperatury podgrzania powietrza. Temperaturę adiabatyczną odpowiadającą danej temperaturze kalory-



Rys.8. Udział molowy produktów dysocjacji w spalinach i adiabatyczna temperatura spalania jako funkcja temperatury podgrzewania powietrza

metrycznej obliczono za pomocą bilansu energetycznego. Niżej przytoczono równanie dotyczące dysocjacji CO_2:

$$\sum_i n'_i \, (Mi)\Big|_0^{T_{kal}} = \sum_i n_i \, (Mi)\Big|_0^{T_{ad}} + \alpha \, n'_{CO_2} \, Q_{d\,o} \qquad (20)$$

gdzie:

n'_i, n_i - ilość substancji i-tego składnika spalin przed dysocjacją i po dysocjacji,

α - stopień dysocjacji, wyznaczony za pomocą wykresu 7,

$Q_{d\,o}$ - ciepło dysocjacji ustalone dla 0 ^oK.

Rozwiązanie równania (20) wymaga metody prób, gdyż stopień dysocjacji zależy od szukanej temperatury T_{ad}.

Na rysunku 8 pokazano ponadto udział molowy produktu dysocjacji (CO lub H_2) w spalinach jako funkcję temperatury podgrzania powietrza.

Wykresy pomocnicze na rys. 7 i 8 zostały wykorzystane przy sporządzaniu wykresów na rys. 5 i 6.

LITERATURA

[1] St. OCHĘDUSZKO - Teoria maszyn cieplnych, część II, PWT Warszawa 1961.

[2] J. SZARGUT - Bilans eksergetyczny procesów cieplnych, Energetyka Przemysłowa 9 (1961) nr 3, str. 73/79.

[3] J. SZARGUT - Klasyfikacja pojęć egzergii, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka nr 14, 1964.

[4] W.M. Thring - The science of flames and furnaces, London 1952.

ВЛИЯНИЕ ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА НА ПОТЕРИ ЭКСЕРГИИ ПРИ ГОРЕНИИ

Резюме

Процесс горения крайне необратим и поэтому в нем выступают большие потери эксергии. Уменьшения этих потерь можно добиться подогревом компонентов горения. Для оценки эффективности этого метода авторы создают понятие "множителя уменьшения необратимости". Эта величина выражает отношение прирощения эксергии продуктов в адиабатическом процессе горения к прирощению эксергии подогреваемых компонентов горения. Введены понятия дифференциального и интегрального множителя уменьшения необратимости. Все эти величины больше единицы. Для процессов горения веществ C, CO и H_2 в подогретом воздухе разработаны диаграммы множителей уменьшения необратимости без учета и с учетом диссоциации.

THE INFLUENCE OF AIR HEATING ON THE EXERGY LOSSES IN THE COMBUSTION PROCESSES

Summary

The combustion processes are highly irreversible and therefore they are accompanied by the huge exergy losses. Those losses can be diminished by heating the pre-combustion species. The effectiveness of considered method can be studyed on basis of the "irreversibility decrease factor" (IDF). The IDF is defined by the authors as a ratio of the exergy increase of the combustion products by the exergy increase of the heated pre-combustion species. The differantial and integral IDF concepts are introduced. The IDF value is always greater then unity.

The diagrams of IDF for C, CO ard H_2 combustion in the heated air are developed and the dissotiation of combustion products was also taken into consideration.