



ΑΕΝ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ
Σχολή Μηχανικών
Ακαδημαϊκό Έτος : 2016-2017

ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΟΙ

Ενότητα 1: Η Καύση στους Ατμοπαραγωγούς

Μαργαρίτου Μαρία
MSc Μηχανολόγος Μηχανικών Ε.Μ.Π

Περιεχόμενα Ενότητας

- Βασικές αρχές καύσης
- Χαρακτηριστικές θερμοκρασίες
- Στοιχειομετρική καύση
- Υπολογιστικά στοιχεία καύσης
- Θερμογόνος δύναμη

Βασικές Αρχές Καύσης

Κάθε **θερμική μηχανή** για να λειτουργήσει είναι απαραίτητη ή ύπαρξη αφενός μίας **δεξαμενής υψηλής θερμοκρασίας**, απ' όπου η μηχανή παραλαμβάνει θερμότητα και αφετέρου μιας **δεξαμενής χαμηλής θερμοκρασίας** όπου η μηχανή αποβάλλει την υπόλοιπη θερμότητα.

3

Βασικές Αρχές Καύσης

Συνήθως σαν **δεξαμενή αποβολής θερμότητας** χρησιμοποιείται το **περιβάλλον** (αέρας, νερό λιμνών κ.λπ.). Επομένως θα πρέπει να δημιουργήσουμε τεχνητά τη δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας. Αυτό επιτυγχάνεται με την **καύση** των διαφόρων καυσίμων.

4

Βασικές Αρχές Καύσης

Με τον **όρο καύση** χαρακτηρίζουμε κάθε **εξώθερμη χημική** αντίδραση καυσίμων υλών με το οξυγόνο, που πραγματοποιείται **με τόση ταχύτητα**, ώστε η εκλυόμενη θερμότητα να είναι τεχνικά εκμεταλλεύσιμη.

5

Βασικές Αρχές Καύσης

Για να επιτευχθεί η **καύση** ενός καυσίμου υλικού είναι απαραίτητη, εκτός από την παρουσία του οξυγόνου και μια **πηγή έναυσης** (π.χ σπινθηριστής).

ΤΡΙΠΤΥΧΟ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ
ΚΑΥΣΙΜΟ – ΟΞΥΓΟΝΟ – ΕΝΑΥΣΗ

6

Χαρακτηριστικές Θερμοκρασίες

Σημείο (θερμοκρασία) ανάφλεξης

Είναι η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία αν θερμανθεί ένα καύσιμο, κάτω από ορισμένες συνθήκες, αναφλέγεται αν προσεγγίσουμε μια πηγή θερμότητας (φλόγα), αλλά δεν συνεχίζει να καίγεται όταν απομακρυνθεί η πηγή. Το σημείο ανάφλεξης είναι χρήσιμο από την άποψη της ασφάλειας του καυσίμου κατά την αποθήκευσή του σε δεξαμενές.

Σημείο (θερμοκρασία) καύσης

Είναι η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία αν θερμανθεί ένα καύσιμο κάτω από ορισμένες συνθήκες, αναφλέγεται αν προσεγγίσουμε μία πηγή θερμότητας και συνεχίζει να καίγεται και μετά την απομάκρυνση της πηγής.

Σημείο (θερμοκρασία) αυτανάφλεξης

Είναι η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία αν θερμανθεί ένα καύσιμο αναφλέγεται κάτω από ορισμένες συνθήκες χωρίς την προσέγγιση κάποιας πηγής θερμότητας.

7

Στοιχειομετρική Καύση

Με τον όρο **στοιχειομετρική ή τέλεια καύση** εννοούμε την καύση ενός καυσίμου με **τόσο οξυγόνο** όσο απαιτείται για την **οξειδωση των στοιχείων του καυσίμου**.

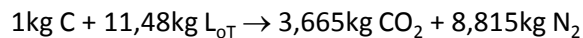
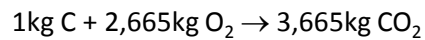
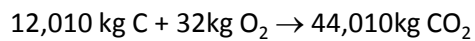
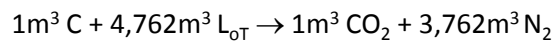
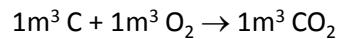
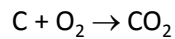
Στην πράξη όμως, λόγω της ύπαρξης λίγο – **πολύ δυσμενών συνθηκών**, για να επιτευχθεί τέλεια καύση απαιτείται **περίσσεια οξυγόνου (αέρα)**. Όσο οι συνθήκες γίνονται δυσμενέστερες, τόσο περισσότερο οξυγόνο απαιτείται για τέλεια καύση.

8

Στοιχειομετρική Καύση

Οι σημαντικότερες εξισώσεις που λαμβάνουν μέρος στην καύση ενός καυσίμου, ανάλογα βέβαια με τη σύστασή του, είναι:

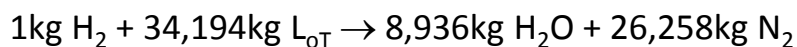
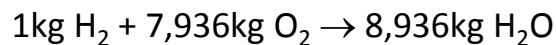
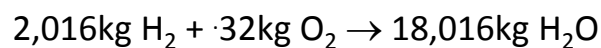
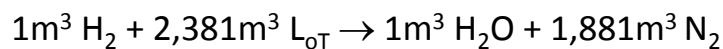
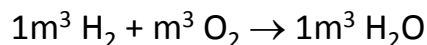
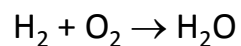
Για τον άνθρακα C



9

Στοιχειομετρική Καύση

Για το υδρογόνο H₂



10

Στοιχειομετρική Καύση

- Θεωρούμε ότι ο αέρας περιέχει μόνο **οξυγόνο και άζωτο** με τις παρακάτω συστάσεις:

Κατά μάζα σύσταση: **23,21% O₂ – 76,79% N₂**

Κατά όγκο σύσταση: **21% O₂ – 79% N₂**

- Από τις παραπάνω εξισώσεις καύσης για 1kg, στερεού ή υγρού και για 1Nm³ αερίου καυσίμου, προκύπτουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά μεγέθη:

$\mu_{L_{OT}}$: **Απαιτούμενος ξηρός αέρας για στοιχειομετρική καύση**

$$\mu_{L_{OT}} = \sum_{i=1}^n \mu_{L_{OTi}} \times \gamma_i$$

Όπου $\mu_{L_{OTi}}$: ο απαιτούμενος αέρας για στοιχειομετρική καύση του κάθε συστατικού του καυσίμου, με i=1 έως n

Όπου γ_i ή μ_i : η κατά μάζα σύσταση του καυσίμου

11

Στοιχειομετρική Καύση

μ_{L_o} : **Απαιτούμενος φυσικού αέρα για στοιχειομετρική καύση (με υγρασία)**

$$\mu_{L_o} = \mu_{L_{OT}} \times (1 + x_{(H_2O)_L})$$

Όπου $x_{(H_2O)_L}$ η ποσότητα υγρασίας στον αέρα (kg H₂O / kg αέρα)

12

Υπολογιστικά Στοιχεία Καύσης

Απαιτούμενο οξυγόνο O_2 για στοιχειομετρική καύση

$$\mu_{O2o} = \sum_{i=0}^n \mu_{O2oi} \times \gamma_i$$

Προσθέτουμε τις ποσότητες kg O_2 από τις αντίστοιχες εξισώσεις καύσης (μ_{O2oi}), αφού πολλαπλασιαστούν οι ποσότητες αυτές με την κατά μάζα σύσταση του κάθε συστατικού στο καύσιμο (γ_i).

13

Υπολογιστικά Στοιχεία Καύσης

Απαιτούμενο οξυγόνο O_2 για στοιχειομετρική καύση

$$O_2 = 0,2321 L_{OT} \text{ kg } O_2 / \text{kg}_{\text{καυσίμου}}$$
$$O_2 = 0,21 L_{OT} \text{ m}^3 O_2 / \text{Nm}^3_{\text{καυσίμου}}$$

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου για την στοιχειομετρική καύση οξυγόνου μπορεί να υπολογιστεί και από την περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο.

Βεβαίως εάν το καύσιμο περιέχει οξυγόνο, αυτό θα πρέπει να αφαιρείται από το απαιτούμενο οξυγόνο, διότι και αυτό προσφέρεται για την καύση.

14

Υπολογιστικά Στοιχεία Καύσης

O₂ στα καυσαέρια

$$\mu_{O_2G} = (n - 1) \times 0,2321 \times \mu_{LoT}$$

Από το απαιτούμενο O₂ για καύση με **περίσσεια αέρα**, εάν **αφαιρέσουμε** το απαιτούμενο O₂ για **στοιχειομετρική καύση** προκύπτει το οξυγόνο στα καυσαέρια σε

15

Υπολογιστικά Στοιχεία Καύσης

H₂O στα καυσαέρια για στοιχειομετρική καύση

$$\mu_{(H_2O)B} = \sum_{i=0}^n \mu_{(H_2O)Bi} \times \gamma_i$$

Ο υδρατμός στο καυσαέριο προέρχεται είτε από την **καύση του καυσίμου**, οπότε θα πρέπει να προσθέσουμε τις ποσότητες m₃ H₂O ή kg H₂O από τις αντίστοιχες εξισώσεις καύσης, αφού πολλαπλασιαστούν οι ποσότητες αυτές με την κατ' όγκο σύσταση ή την κατά μάζα σύσταση του κάθε συστατικού στο καύσιμο.

16

Υπολογιστικά Στοιχεία Καύσης

H₂O στα καυσαέρια για στοιχειομετρική καύση

$$\mu_{(H_2O)LO} = x_{(H_2O)L} \times \mu_{LoT}$$

Είτε από την **υγρασία του αέρα**, οπότε θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε την υγρασία του αέρα $x_{(H_2O)L}$ με την απαιτούμενη ποσότητα αέρα για την στοιχειομετρική καύση μ_{LoT} ή για περίσσεια αέρα μ_{LT} .

17

Υπολογιστικά Στοιχεία Καύσης

H₂O στα καυσαέρια για στοιχειομετρική καύση

Κατόπιν αυτού θα πρέπει να προσθέσουμε τις δύο προκύπτουσες ποσότητες υδρατμών.

$$\mu_{(H_2O)O} = \mu_{(H_2O)LO} + \mu_{(H_2O)B}$$

18

Υπολογιστικά Στοιχεία Καύσης

H_2O στα καυσαέρια με περίσσεια αέρα

Κατόπιν αυτού θα πρέπει να προσθέσουμε τις δύο προκύπτουσες ποσότητες υδρατμών.

$$\mu_{(H_2O)} = \mu_{(H_2O)_o} + (n-1) \mu_{(H_2O)_{Lo}}$$

19

Υπολογιστικά Στοιχεία Καύσης

CO_2 στα καυσαέρια για στοιχειομετρική καύση

$$\mu_{CO_2} = \sum_{i=0}^n \mu_{(CO_2)_i} \times \gamma_i$$

Προσθέτουμε τις ποσότητες $m_3 CO_2$ ή $kg CO_2$ από τις αντίστοιχες **εξισώσεις καύσης** αφού πολλαπλασιαστούν οι ποσότητες αυτές με την κατ' όγκο σύσταση ή **την κατά μάζα σύσταση** του κάθε συστατικού στο καύσιμο.

20

Υπολογιστικά Στοιχεία Καύσης

SO₂ στα καυσαέρια για στοιχειομετρική καύση

$$\mu_{SO_2} = \sum_{i=0}^n \mu_{(SO_2)_i} \times \gamma_i$$

Προσθέτουμε τις ποσότητες m³ SO₂ ή kg SO₂ από τις αντίστοιχες **εξισώσεις καύσης** αφού οι ποσότητες αυτές πολλαπλασιαστούν με την κατ' όγκο σύσταση ή την **κατά μάζα σύσταση** του κάθε συστατικού στο καύσιμο

21

Υπολογιστικά Στοιχεία Καύσης

N₂ στα καυσαέρια για στοιχειομετρική καύση

$$\mu_{N_2O} = \sum_{i=0}^n \mu_{N_2O_i} \times \gamma_i$$

Το **άζωτο στο καυσαέριο** προέρχεται από την καύση του καυσίμου, οπότε θα πρέπει να προσθέσουμε τις ποσότητες m³ NO₂ ή kg NO₂ από τις αντίστοιχες εξισώσεις καύσης, αφού πολλαπλασιαστούν οι ποσότητες αυτές με την κατ' όγκο σύσταση ή την κατά μάζα σύσταση του κάθε συστατικού στο καύσιμο.

22

Υπολογιστικά Στοιχεία Καύσης

N_2 στα καυσαέρια με περίσσεια αέρα

$$\mu_{N2} = \mu_{N2o} + (n - 1) \times (1 - 0,2321) \times \mu_{LoT}$$

Το **άζωτο** σε καύση με περίσσεια αέρα προέρχεται ως το άθροισμα του αζώτου από την στοιχειομετρική καύση και το ποσοστό του αζώτου στην περίσσεια αέρα .

23

Καύση με Περίσσεια Αέρα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω για να επιτευχθεί στην πράξη η διαδικασία της καύσης απαιτείται οξυγόνο (αέρας) σε ποσότητα μεγαλύτερη από αυτή που καθορίζουν οι εξισώσεις της καύσης (στοιχειομετρική καύση).

Απαιτούμενος πραγματικός αέρας μ_{Lo} ή μ_L (περίσσεια αέρα)

Καλούμε λόγο αέρα καύσης λ , το πηλίκο του πραγματικά απαιτούμενου αέρα προς τον απαιτούμενο για τέλεια καύση αέρα, δηλαδή:

$$\lambda = \frac{\mu_{LT}}{\mu_{LoT}} \left(\eta = \frac{\mu_L}{\mu_{Lo}} \right)$$

24

Καύση με Περίσσεια Αέρα

Οι τιμές του λόγου αέρα καύσης ποικίλει ανάλογα με το είδος του καυσίμου και τις συνθήκες της καύσης.

Ενδεικτικές τιμές του λ

Στερεά καύσιμα:	1,2 - 2,0
Υγρά καύσιμα:	1,2 - 1,4
Αέρια καύσιμα:	1,1 - 1,2

25

Θερμογόνος Δύναμη

Τα χημικά στοιχεία τα οποία περιέχονται στα καύσιμα και συμμετέχουν στην καύση είναι κυρίως ο **άνθρακας** και το **υδρογόνο** και δευτερεύοντος το **θείο**. Τα στοιχεία αυτά αντιδρώντα με το οξυγόνο παρέχουν θερμότητα.

Η **θερμότητα** αυτή η οποία εκλύεται **ανά μονάδα βάρους** (kg) των στερεών και των υγρών καυσίμων και ανά μονάδα όγκου (Nm³) των αερίων καυσίμων, καλείται **θερμογόνος δύναμη**.

26

Θερμογόνος Δύναμη

Η θερμογόνος δύναμη των καυσίμων μπορεί να υπολογισθεί από εμπειρικές σχέσεις που έχουν δημοσιευθεί, όπως στην περίπτωση των υγρών καυσίμων και των λιθανθράκων, με τη βοήθεια της κατά μάζας σύστασης:

$$H_u = 34834 \cdot c + 93868 \cdot h + 10132 \cdot s + 5945 \cdot n - 10802 \cdot o - 2449 \cdot w$$

(kJ/kg)

27

Θερμογόνος Δύναμη

Διακρίνουμε την **ανώτερη θερμογόνο δύναμη (H_o)** και την **κατώτερη θερμογόνο δύναμη (H_u)**.

Η **ανώτερη θερμογόνος δύναμη** υπερβαίνει την τιμή της **κατώτερης θερμογόνου δύναμης** κατά το ποσό της θερμότητας που αντιστοιχεί στην θερμότητα **υγροποίησης του υδρατμού** που υπάρχει στο καυσαέριο.

28