2η Πρόοδος Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής 27 Σεπτεμβρίου 2016

ΘΕΜΑ 1 (10 μονάδες)

Να υπολογιστεί η θερμική και η ισεντροπική απόδοση του στροβίλου, σε έναν ατμοστρόβιλο ονομαστικής ισχύος 1 MW, ο οποίος λειτουργεί με ψυκτικό πίεσης 1 MPa, θερμοκρασίας 150 oC και μαζικής παροχής 25 kg/sec, αν ο συμπυκνωτής του βρίσκεται σε πίεση 100 kPa και η ισεντροπική απόδοση της αντλίας είναι 90 %. Το ψυκτικό στην έξοδο του στροβίλου εξακολουθεί να είναι υπέρθερμος ατμός, στην πίεση του συμπυκνωτή.

ΛΥΣΗ

Ειδικό έργο: wnet = (1000 kJ/sec)/(25 kg/sec) = 40 kJ/kg

Κ 1. P1 = 100 kPa Κορεσμένο υγρό v1 = 0,0007259 m3/kg h1 =17,28 kJ/kg

Δ 1-2. Ιδανικό έργο wins = v1\*(P2 – P1) = 0,0007259\*(1000-100) = 0,653 kJ/kg

Πραγματικό έργο win = 0,653/0,9 = 0,726 kJ/kg

Πραγματικό έργο στροβίλου: wout = wnet + win =40+0,726 = 40,726 kJ/kg

Κ 2. h2 = h1 + win = 17,28+0,726 = 18,006 kJ/kg

Κ 3. h3 = 388,22 kJ/kg s3 = 1,2368 kJ/kgK

Δ 2-3. qin = h3 – h2 = 388,22-18,006 = 370,21 kJ/kg

Κ 4s. s4 = s3 = 1,2368 kJ/kgK P4 = 100 kPa υπέρθερμος ατμός

h4s = 316,26+(325,55-316,26)\*(1,2368-1,2305)/(1,2572-1,2305) = 318,45 kJ/kg

Δ 3-4. wouts = h3 – h4 = 388,22 -318,45 =63,76 kJ/kg

ns,t = wout/wouts = 40,726/3,76 = 58,4 % nth = wnet/qin = 40/370,21 = 10,8 %

ΘΕΜΑ 2 (10 μονάδες)

Αέριο μίγμα με κατ’ όγκο σύσταση 79 % Ν2, 15 % Ο2 και 6 % CO2, σε πίεση 10 MPa και θερμοκρασία 1000 oC εκτονώνεται μέσω αδιαβατικού στροβίλου στους 600 oC και στα 100 kPa. Να υπολογιστεί το παραγόμενο ειδικό έργο ανά kg μίγματος (5 μονάδες) και η μεταβολή της ειδικής εντροπίας επίσης ανά kg μίγματος (5 μονάδες). (Μοριακά βάρη, kg/kmol: Ν2: 28, Ο2: 32, CO2: 44)

ΛΥΣΗ

Γραμμομοριακά κλάσματα: yN2 = 0,79, yO2 = 0,15, yCO2 = 0,06

Μοριακό βάρος μίγματος: Mm = 0,79\*28+0,15\*32+0,06\*44 = 29,56 kg/kmol

Κλάσματα μάζας: mfN2 = 0,79\*28/29,56 = 0,748

mfO2 = 0,15\*32/29,56 = 0,1626

mfCO2 = 0,06\*44/29,56 = 0,089

Γραμμομοριακές ενθαλπίες στην είσοδο:

h’N2 = 39488-(39488-38807)\*(1280-1273)/(1280-1260) = 39250 kJ/kmol

h'O2 = 41312-(41312-40594)\*(1280-1273)/(1280-1260) = 41061 kJ/kmol

h’CO2 = 58381-(58381-57244)\*(1280-1273)/(1280-1260) = 57983 kJ/kmol

h’in = 0,79\*39250+0,15\*41061+0,06\*57983 = 40646 kJ/kmol

Ειδική ενθαλπία στην είσοδο: hin = h’in/Mm = 40646/29,56 = 1375,0 kJ/kg

Γραμμομοριακά so στην είσοδο:

soN2 = 236,302-(236,302-235,766)\*(1280-1273)/(1280-1260) = 236,114 kJ/kmolΚ

soO2 = 252,219-(252,219-251,653)\*(1280-1273)/(1280-1260) = 252,021 kJ/kmolΚ

soCO2 = 282,962-(282,962-282,066)\*(1280-1273)/(1280-1260) = 282,648 kJ/kmolΚ

soin = 0,79\*236,114+0,15\*252,021+0,06\*282,648 = 241,292 kJ/kmolΚ

Γραμμομοριακές ενθαλπίες στην έξοδο:

h’N2 = 25928+(26248-25928)\*(873-870)/(880-870) = 26024 kJ/kmol

h'O2 = 26899+(27242-26899)\*(873-870)/(880-870) = 27002 kJ/kmol

h’CO2 = 35821+(36347-35821)\*(873-870)/(880-870) = 35979 kJ/kmol

h’out = 0,79\*26024+0,15\*27002+0,06\*35979 = 26768 kJ/kmol

Ειδική ενθαλπία στην έξοδο: hout = h’out/Mm = 26768/29,56 = 905,55 kJ/kg

Γραμμομοριακά so στην έξοδο:

soN2 = 223,562+(223,927-223,562)\*(873-870)/(880-870) = 223,672 kJ/kmolΚ

soO2 = 238,660+(239,051-238,660)\*(873-870)/(880-870) = 238,777 kJ/kmolΚ

soCO2 = 261,770+(262,371-261,770)\*(873-870)/(880-870) = 261,950 kJ/kmolΚ

soout = 0,79\*223,672+0,15\*238,777+0,06\*261,950 = 228,234 kJ/kmolΚ

Παραγόμενο ειδικό έργο: w = hin – hout = 1375,0-905,55 = 469,45 kJ/kg

Μεταβολή της γραμμομοριακής εντροπίας:

ΔS = 228,234-241,292-8,314\*ln(100/10000) = 25,229 kJ/kmolΚ

Μεταβολή της ειδικής εντροπίας:

ΔS = 25,229/29,56 = 0,85348 kJ/kgΚ

ΘΕΜΑ 3 (10 μονάδες)

Βιομάζα με κ.β. σύσταση 48,0 % C, 7,2 % H2 και 44,8 % Ο2 τροφοδοτείται σε καυστήρα με παροχή 1 kg/s και καίγεται πλήρως με 100 % περίσσεια αέρα (τόσο η βιομάζα όσο και ο αέρας εισέρχονται στους 25 oC). Η παραγόμενη θερμότητα τροφοδοτείται σε ατμοστρόβιλο με συμπυκνωτή που λειτουργεί στα 10 kPa και υπερθερμαίνει ατμό στους 600 οC και πίεση 10 MPa Αν τα απαέρια του καυστήρα εξέρχονται στους 127 oC και οι ισεντροπικές αποδόσεις αντλίας και στροβίλου είναι 90 %, να υπολογιστεί η παραγόμενη ισχύς του στροβίλου. (η μαζική παροχή ατμού στον ατμοστρόβιλο υπολογίζεται από την παραγόμενη θερμότητα (kJ/s) και τις ειδικές ενθαλπίες του νερού και του ατμού του στροβίλου πριν και μετά τον καυστήρα (kJ/kg νερού)

ΛΥΣΗ

Υπολογισμός παραγόμενης θερμότητας

Βάση 1 kg βιομάζας C: 0,480 kg ή 0,48/12= 0,040 kmole

Η2: 0,072 kg ή 0,072/2= 0,036 kmole

O2: 0,448 kg ή 0,448/32= 0,014 kmole

Θεωρητική καύση: Β/Μ + 0,044 (Ο2 + 3,76 Ν2) = 0,040 CO2 + 0,036 H2O + 0,165 N2

Πραγματική καύση: Β/Μ + 0,088 (Ο2 + 3,76 Ν2) = 0,040 CO2 + 0,036 H2O + 0,044 Ο2 + 0,331 N2

Η θερμοκρασία των απαερίων είναι υψηλότερη ακόμα και από το σημείο δρόσου για 100 % υδρατμό (δηλαδή είναι μεγαλύτερη από τους 100 oC), οπότε καθόλου ατμός δεν συμπυκνώνεται.

q = 0,040\*(-393520+13372-9364)+0,036\*(-241820+13356-9904)+0,044\*(11711-8682)+0,331\*(11640-8669) =

= -23045 kJ/kg βιομάζας = -23045 kJ/s

Ατμοστρόβιλος

Κ1. κορεσμένο νερό v1 = 0,001010 m3/kg h1 = 191,81 kJ/kg

Δ12. wins = 0,00101\*(10000-10) = 10,09 kJ/kg win = 10,090/0,9 = 11,21 kJ/kg

K2. h2 = 191,81+11,21 = 203,02 kJ/kg

K3. h3 = 3625,8 kJ/kg s3 = 6,9045 kJ/kgK

K4s. s4g = 8,1488 kJ/kgK s4f = 0,6492 kJ/kgK xs = (6,9045-0,6492)/(8,1488-0,6492) = 0,834

h4s = 0,834\*2583,9+0,166\*191,81 = 2186,8 kJ/kg

wouts = 3625,8-2186,8 = 1439,0 kJ/kg wout = 0,9\*1439,0 = 1295,1 kJ/kg

wnet = 1295,1-11,21 = 1283,89 kJ/kg

μαζική παροχή νερού στον στρόβιλο: m’ = 23045/(3625,8-203,02) = 6,733 kg/sec

Ισχύς: W’ = 1283,89\*6,733 = 8644.4 kJ/s = 8,64 MW